

SISTEMA DE VALORACIÓN POR IMÁGENES PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PIGMENTACIÓN DE LA PIEL EN PRUEBAS DE PROTECCIÓN SOLAR

**RAISA JULIANA PINO FLÓREZ
VIVIANA MARCELA POSADA PÉREZ**



**ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA
INGENERÍA BIOMÉDICA
ENVIGADO
2012**

**SISTEMA DE VALORACIÓN POR IMÁGENES PARA LA
ESTIMACIÓN DE LA PIGMENTACIÓN DE LA PIEL EN PRUEBAS
DE PROTECCIÓN SOLAR**

**RAISA JULIANA PINO FLÓREZ
VIVIANA MARCELA POSADA PÉREZ**

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO BIOMÉDICO.**

Director:

EDISON VALENCIA DÍAZ

Ph.D en Ingeniería Óptica



**ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA
INGENIERÍA BIOMÉDICA
ENVIGADO
2012**

Viviana.

A Dios

Por enseñarme que la dedicación y el tiempo son lo único que se necesita para cumplir las metas

A mi madre y a mi hermano; Por su apoyo, su ejemplo de disciplina y de fortaleza. Más que nada, por su amor y su compañía.

Raisa.

A Dios

Por darme la oportunidad de disfrutar de la vida que tengo y de la familia a la cuál pertenezco.

A mi padre y hermano; Por su confianza incondicional, por la fortaleza y empeño que me han enseñado para afrontar la vida.

A mi madre; Por su firmeza, valentía y amor para darme la vida.

A mis tías; Por su amor y acompañamiento incondicional.

Y a mi mejor amigo; Por el tiempo empleado en crecer, aprender, reír y llorar.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se logró gracias a la alianza universidad-empresa de las instituciones EIA-CES-CECIF que brindaron sin ningún inconveniente la información requerida para el desarrollo de cada uno de los objetivos.

A Edison Valencia, nuestro director de trabajo de grado, que con su conocimiento nos guió y acercó a la aplicación de los conocimientos adquiridos en la universidad en el medio laboral.

Al Dr Enrique Muñoz Carnago por abrirnos las puertas del CECIF, por la pertinencia de sus aportes y necesidades.

En general, a todos los profesores, amigos y compañeros que se vieron involucrados en el desarrollo de este proyecto y también por sus conocimientos, que nos formaron como personas e ingenieros, en una sociedad que necesita urgentemente del ser y también del saber.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	13
1 PRELIMINARES.....	15
1.1 Planteamiento del problema	15
1.2 Objetivos del proyecto	15
1.2.1 Objetivo General.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Marco de referencia.....	16
1.3.1 El color de la piel	16
1.3.2 Radiación UV	18
1.3.3 Bronceado	20
1.3.4 Fotoprotección.....	20
1.3.5 Evaluación de la fotoprotección	22
1.3.6 Fotografía digital.....	22
1.3.7 ILUMINACIÓN	25
1.3.8 ESPACIO DE COLOR.....	27
1.3.9 Situación legal	34
2 METODOLOGÍA.....	35
3 SISTEMA DE VALORACIÓN POR IMÁGENES PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PIGMENTACIÓN DE LA PIEL EN PRUEBAS DE PROTECCIÓN SOLAR	37
3.1.1 Iluminación	37
3.1.2 Fondo.....	38
3.1.3 Ángulo	44

3.2	Diseño de un sistema FÍSICO y digital para estimación de la pigmentación de la piel	45
3.2.1	Identificación de la necesidad	45
3.2.2	Generación del concepto	47
3.3	Diseño en detalle.....	51
3.4	Diseño de software.....	52
4	VALIDACIÓN DEL SISTEMA Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	54
5	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES	64
6	REFLEXIONES FRUTO DEL TRABAJO Y SUGERENCIAS PARA POSTERIORES PROYECTOS.....	66
7	BIBLIOGRAFÍA.....	67
	ANEXO 1	70

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Contribución relativa UVB/UVA a los principales efectos biológicos.	18
Tabla 2. Composición típica de los protectores solares.	19
Tabla 3. Correlación de Pearson entre cada tipo de iluminación comparado con los datos L* promedio de la CRCh para el iluminante D50.	38
Tabla 4. Correlación de Pearson entre cada tipo de iluminación comparado con los datos L* promedio de la CRCh para el iluminante D65.	38
Tabla 5. Identificación de la necesidad	45
Tabla 6. Lista de medidas y valores	45
Tabla 7. Matriz de conceptos de solución.	47
Tabla 8. Solución Sistema de captura cámara industrial	48
Tabla 9. Solución Sistema de captura cámara compacta	49
Tabla 10. Solución sistema de captura cámara DSLR	49
Tabla 11. Solución sistema de iluminación LED	50
Tabla 12. Solución sistema de iluminación lámpara 6500k	50
Tabla 13. Solución sistema de iluminación lámpara 6500k en forma de anillo	50
Tabla 14. Solución cubierta del dispositivo en madera MDF	51
Tabla 15. Solución cubierta del dispositivo en acrílico	51
Tabla 16. Partes del sistema	52

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Capacidad de penetración en la piel de las diferentes radiaciones	18
Figura 2. QE para una cámara CCD típica.	23
Figura 3. QE para una cámara ImagingSource DMK 22AUC03	24
Figura 4. Comparación de la distribución espectral de los iluminantes CIE D50, D55, D65 D75.	26
Figura 5. Modelo de Color RGB	27
Figura 6. Sensor CCD/CMOS.	28
Figura 7. Síntesis aditiva (a) y sustractiva del color (b).	28
Figura 8. Modelo de color HSV. Cono Hexagonal.	29
Figura 9. Diagrama Cromático (X.Y) Estándar de la CIE.	31
Figura 10. Diagrama de bloques del código para hallar el valor L^*	37
Figura 11. Tendencia de los datos L^* promedio de la CRCh para el iluminante D50 comparado con los tipos de iluminación I, II y III.	38
Figura 12. Procedimiento para encontrar la diferencia de color entre una matriz de 1x572 píxeles y un píxel representativo del fondo.	39
Figura 13. Fotografía de un dedo sobre cada uno de los fondos.	41
Figura 14. DE^* entre el fondo y el dedo, para cada color de fondo.	42
Figura 15. L^* entre el fondo y el dedo, para cada color de fondo.	42
Figura 16. Iluminación con tres geometrías diferentes.	43
Figura 17. Caja negra.	46
Figura 18. Caja transparente.	46
Figura 19. Funciones del software	54

Figura 20. Captura de piel pigmentada y no pigmentada con la iluminación escogida.	56
Figura 21. Imagen 1 para la validación del software	57
Figura 22. Prueba 1 funcionamiento del software	57
Figura 23. Prueba 2 del funcionamiento del software	58
Figura 24. Prueba 3 de software	58
Figura 25. Prueba del sistema de valoración por imágenes para la estimación de la pigmentación de la piel en pruebas de protección solar	59

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Manual usuario MEASURE FPS

65

RESUMEN

En Antioquia, existe un centro que trabaja en la investigación para la industria cosmética y farmacéutica, la corporación centro de la Ciencia y la Investigación Farmacéutica – CECIF. Esta Institución dentro de sus necesidades investigativas, requiere implementar un sistema de adquisición de imágenes de la piel y su posterior valoración cuantitativa para medir la efectividad del uso de la protección solar, bajo pruebas dirigidas de exposición a radiación UV. El problema consiste en que con el método actual no es posible hacer una evaluación del comportamiento de un protector solar con rangos de color específicos que estandarice la opinión de los profesionales en el tema, que tenga en cuenta el color de la línea base y que pueda percibir rangos cromáticos y cambios que la visión humana no puede apreciar o que puede confundir bajo distintas condiciones de luz.

Es por esto que en este trabajo de grado se presenta el desarrollo de sistema de valoración por imágenes para la estimación de la pigmentación de la piel en pruebas de protección solar, que evalúa el cambio de color según la exposición y según la línea base, alcanza a percibir diferencias de color que la visión humana no puede y garantiza unas mismas condiciones para la adquisición de las imágenes.

El sistema desarrollado arrojó como resultado una herramienta para la detección de diferencias de color según la naturaleza del bronceado. Se estableció que las características principales involucradas en la adquisición de imágenes de la piel y la cuantificación de cambios de pigmentación, son el observador (cámara), el contexto (fondo), la iluminación y la geometría del dispositivo. Y se obtuvieron los valores de esas variables correspondientes al diseño de este sistema con pruebas experimentales. Los datos obtenidos se tabularon y se hicieron correlaciones entre los valores teóricos y los experimentales. La decisión del mejor conjunto de características se definió teniendo en cuenta los requerimientos para obtención de imágenes de pigmentación de la piel encontrados en la bibliografía.

ABSTRACT

In the current degree work an image skin color changes valuation system was developed to estimate solar protection validity in UV graduated radiation test.

With the methodology follow up, a reference review about the tan nature, and color difference calculation tools was carried out. With the found information, principal characteristics involved in skin image acquisition were established. Those characteristics are the observer (camera), context (background), lights and geometry. In order to obtain these variables specifications and to design the device, experimental probes with different kind of cameras, lights, color background and geometries were performed. The obtained data was tabulated and correlations between theoretical and experimental values was madden. The best group of characteristics was established taking in account the requirements referenced to get skin pigmentation images.

The main result of this degree work is based on comparisons among designed system, human visual perception and referenced results. Also, this system is can be extrapolate to other kind of tests based on superficial skin changes, with minimal system modifications.

INTRODUCCIÓN

Los instrumentos de reflectancia, así como los espectrofotómetros y los colorímetros han entrado con gran fuerza en el campo dermatológico y en la ciencia cosmetológica en atención a cuantificar el grado de eritema y de pigmentación (Yamamoto, 2008). Sin embargo, estos instrumentos no diferencian los componentes del eritema y la pigmentación de la piel causadas por mecanismos como el “enrojecimiento” por el flujo sanguíneo y el “bronceado” por la melanina de la epidermis (Yamamoto, 2008). Es difícil determinar la cuantificación de cada uno de estos componentes, sea por inspección visual o por las técnicas anteriormente mencionadas. Es por esto que este trabajo de grado propone un sistema de valoración cuantitativa por imágenes para la determinación de los cambios de color en la piel.

Actualmente, existen métodos que analizan datos morfológicos de la piel como las arrugas faciales. Un estudio del Research and Development Skin Beauty Care en el 2007, utiliza el procesamiento de imágenes para valorar el cambio cronológico de la piel bajo los efectos de una crema antiarrugas (Miyamoto, 2007). Otro estudio de la Universidad de Medicina de Corea en el 2010, hizo la comparación de la severidad clínica de las señas particulares de la piel con un análisis de resultados de fotografías PPL (parallel-polarized light) para validar el significado clínico de este método de iluminación y la adquisición con la función de blancos y negros de la cámara fotográfica digital convencional y su aplicación (Bae, 2010).

Aunque existen técnicas alternas como la espectrofotometría y la dermoscopia (Taylor,

2006), éstas resultan ser métodos invasivos, en el caso de que una quemadura o una lesión diferente a la pigmentación, porque para llevarlas a cabo necesitan tener contacto con la piel afectada. En este trabajo de grado, se desarrolló un dispositivo capaz de obtener información de las afecciones dérmicas pigmentadas sin ser invasivo y con un análisis cuantitativo que entrega información confiable, además hace una evaluación del comportamiento de un protector solar con rangos de color específicos, estandariza la opinión de los profesionales en el tema, y tiene en cuenta el color de la línea base.

En la primera parte de este trabajo de grado se identificaron las características involucradas en la obtención de la imagen digital de la pigmentación de la piel. En la siguiente etapa se describen las metodologías y los resultados de pruebas experimentales para la obtención de los valores de estas variables. Estos valores son los que más se adaptan al propósito del sistema de valoración por imágenes para la estimación de la

pigmentación de la piel en pruebas de protección solar. Después se hace el diseño del sistema mecánico y el diseño del software, se realizaron pruebas del funcionamiento del sistema y se anexó una guía del usuario.

Como resultado, se obtuvo un sistema de adquisición y procesamiento, en el que se hace una percepción relativa del color y se garantizan una iluminación y una geometría estandarizadas para todas las capturas. Esto garantiza una evaluación real de la eficiencia del protector solar porque se mide la coloración del bronceado versus la coloración de la piel que no fue expuesta. Además es un sistema que permite la extrapolación a otras pruebas cosméticas y dermatológicas.

1 PRELIMINARES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el campo cosmético colombiano, se utilizan técnicas subjetivas como la observación, para la valoración colorimétrica de la piel después de hacer pruebas de radiación UV localizada sobre pacientes sanos. Un alto porcentaje de la información médica se representa en imágenes digitales, porque éstas constituyen uno de los elementos más importantes en la práctica clínica (Valencia, 2010). La imagen digital, combinada con otras técnicas apropiadas como la iluminación y la filtración de la luz, es útil para la medición colorimétrica de la piel (Soo Hong Seo, 2011). Es necesario desarrollar un sistema de valoración por imágenes para comprobar la efectividad de la protección solar que resulte altamente práctico y presente información cuantitativa y certera.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de valoración por medio de imágenes para la evaluación cuantitativa de la pigmentación de la piel en pruebas de protección solar.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar cuáles son las características necesarias (tipo de iluminación, filtrado, software, tipo de cámara y condiciones ambientales) para la evaluación del efecto del protector solar sobre la piel basado en adquisición de imágenes de la piel.
- Diseñar un sistema de adquisición y procesamiento de imágenes para la evaluación de pruebas de protección solar.
- Diseñar un protocolo de uso para el sistema de adquisición y procesamiento de imágenes para evaluación de pruebas de protección solar.
- Validar el sistema de adquisición y procesamiento de imágenes para la evaluación de pruebas de protección solar con los resultados de otros métodos y de artículos referenciados.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 El color de la piel

Existen muchos factores que determinan el color de la piel. Entre ellos la cantidad de melanina y su estructura que aportan el tono café, la hemoglobina y la desoxihemoglobina los tonos rojizos y el amarillo que proviene de los carotenos y otras sustancias químicas (Zonios & al, 2001). Los reportes acerca de las diferencias en la pigmentación de la piel, cabello y ojos, indican que el color de la piel se debe principalmente a la cantidad y la distribución de la melanina. La variación del color de la piel entre diferentes razas se debe a los factores que regulan la producción y la distribución de los melanocitos en la piel (Jablonski & al, 2000)

La hemoglobina es una molécula que se encuentra en las células sanguíneas y es la responsable del transporte de oxígeno en el cuerpo. La hemoglobina oxigenada tiene un tono rojizo y produce un tinte ligeramente rosado en la piel bajo condiciones normales de oxigenación. La hemoglobina desoxigenada tiene un color púrpura y produce un tinte azulado ligeramente pigmentado. (Bersha, 2010)

La piel es un medio heterogéneo formado por varias capas que tienen propiedades ópticas particulares. Más exactamente, la piel se divide en dermis, epidermis y grasa subcutánea. (Bersha, 2010)

1.3.1.1 Epidermis

La epidermis es la capa más externa de la piel, tiene aproximadamente 0.4mm a 1.5mm de espesor. (Wolff & al., 2009) La misma epidermis se divide en varias capas y se compone, en su mayoría, de tejido conectivo, también contiene las células productoras de melanina. El nivel de absorción de la melanina depende del número de melanosomas por unidad de volumen que están en la epidermis. La fracción de volumen de la epidermis ocupado por melanosomas varía de 1,3% a 6,3% para los adultos poco pigmentados, 11% a 16% para los adultos moderadamente pigmentados y del 18% al 43% para los adultos con pigmentación oscura. (Ferguson-Pell & al., 1995)

Los cinco estratos que forman el epitelio plano, estratificado y queratinizado de la epidermis son: (Arenas, 2005)

- **Basal o germinativo:** Este estrato está constituido por células cilíndricas llamadas queratinocitos que están unidas entre sí por desmosomas y unidas a la membrana basal por hemidesmosomas. Cada 5 o 10 queratinocitos hay presencia de melanocitos, células de Langerhans (células dendríticas) y también de células de Merkel (células no dendríticas). (Arenas, 2005)

La **melanina** es un biopolímero que se produce en los melanocitos, esta se obtiene del aminoácido tirosina (Tyr) y se encuentra ubicado específicamente en los melanosomas. La melanina además de dar el color a la piel, cumple un papel de protección contra los rayos UV (Martínez, 2012). Las células de Merkel son mecanorreceptores y las células de Langerhans prestan antígenos. (Arenas, 2005).

Espinoso o de Malpighi: Formado por varias capas de células de geometría poliédricas con núcleo redondeado (Wolff & al., 2009) que se unen por medio de desmosomas. (Arenas, 2005)

- **Granuloso:** Su nombre se debe a los gránulos queratohialinos (precursor de la queratina) (Atlas) que se encuentran en las células de este nivel de la epidermis (dermatología, wolff). Los gránulos están compuestos de profilagrina, filamento de queratina y loricrina. Cuando la profilagrina se transforma en monómeros de filagrina, ésta, a su vez, se degrada en moléculas como el ácido urocánico y el ácido pirrolindoncarboxílico que contribuyen a la hidratación del estrato córneo, y de esta manera filtran la radiación UV. (Wolff & al., 2009)
- **Lúcido:** Este estrato solo está presente en pieles muy gruesas como la de los pies o las manos. Formado por eleidina. (Arenas, 2005)
- **Córneo:** Integrada por células muertas, aplanadas. (Arenas, 2005) Esta capa proporciona protección mecánica a la piel, restringe la pérdida de agua y el ingreso de sustancias solubles que provienen del exterior. (Wolff & al., 2009)

1.3.1.2 Dermis

La dermis es la segunda de las tres capas de la piel. Es una capa más gruesa que la epidermis. Tiene entre 0.6 y 3mm de espesor y también propaga y absorbe luz (Porter & al., 2010). La epidermis se divide en dos áreas: la región papilar y la región reticular. Estas capas se componen principalmente de tejido conectivo con nervios y vasos sanguíneos. (Bersha, 2010).

1.3.1.3 Hipodermis

Grasa subcutánea, también llamada hipodermis, es un tejido adiposo que se caracteriza por una absorción despreciable de la luz en la región visible del espectro. La hipodermis contiene 50% de grasa corporal y debido a esta cantidad de grasa blanca la mayoría de la luz visible que llega a este tejido se refleja de vuelta a las capas superiores (Bersha, 2010)

1.3.2 Radiación UV

Las radiaciones ultravioleta son la principal causa del cáncer y de otras afecciones de la piel. (Moreno, 2012) Mientras los rayos UVC (longitudes de onda corta entre 100-280nm) son absorbidos por el ozono atmosférico, la mayoría de los rayos UVA (longitudes de onda larga entre 315-400nm), y cerca del 10% de los rayos UVB (longitudes de onda media entre 180-315nm) caen en la superficie de la tierra y tienen efectos sobre la salud humana (WHO, 2003) Su intensidad se altera o se favorece por factores como: (OMS, 2009)

- La altura del sol: mientras más alto esté en el cielo, más intensas son.
- La latitud: la intensidad de las radiaciones es proporcional a la cercanía con la línea del ecuador
- La cobertura de las nubes: mientras menos nubes se perciban, más intensas son las radiaciones.
- Otros factores: la altitud, la capa de ozono, y la reflexión por el suelo.

1.3.2.1 Efectos sobre la piel humana

La óptima exposición a la radiación UV depende de muchos factores propios de las personas, como la dieta, el tipo de piel, entre otros. La quemadura solar, o eritema, es el efecto asociado a las enfermedades causadas por sobreexposición al sol. Después de mucho tiempo de exposición los rayos UV inducen cambios degenerativos en las células de la piel. Los efectos más leves incluyen reacciones inflamatorias y fotoqueratitis; mientras que las consecuencias más serias son el cáncer de piel y las cataratas (WHO, 2003) Diferentes tipos de cáncer cutáneo se le atribuyen a la sobreexposición de radiación UV, otras consecuencias relacionadas son: las quemaduras de sol, el envejecimiento prematuro, las cataratas y algunas otras enfermedades de la visión (WHO, 2003)

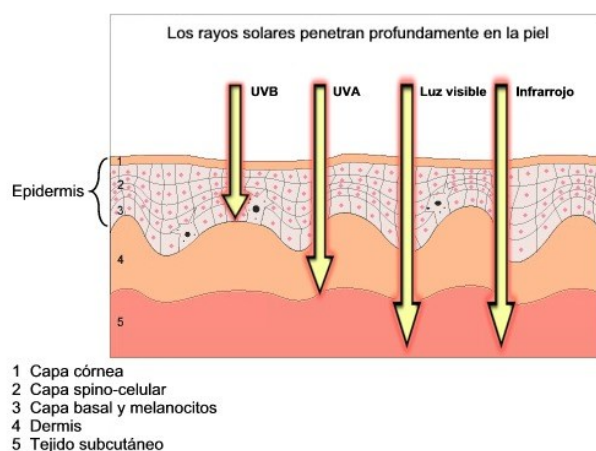


Figura 1. Capacidad de penetración en la piel de las diferentes radiaciones. (Eucerin, 2010)

La radiación UVA es la que menos energía contiene y su importancia radica en su capacidad de broncear la piel produciendo un mínimo eritema, penetra en la dermis y a ella se le atribuyen el fotoenvejecimiento cutáneo y el bronceado inmediato (Eucerin, 2010).

La radiación UVB llega a la epidermis y penetra menos profundo en la piel. No es eficiente para el bronceado, porque su exposición, en igual dosis que la UVA, puede causar eritemas y quemaduras. Tabla 1. Este tipo de radiación induce la síntesis de melanina y causa el bronceado tardío (Eucerin, 2010). La radiación UVB también estimula la mitosis de los queratinocitos, es decir, engrosamiento del estrato córneo; y tiene la capacidad de dañar la cadena del ADN por lo que se le atribuyen el 90% de los cánceres de piel. **Tabla 1.**

Tabla 1. Contribución relativa UVB/UVA a los principales efectos biológicos

Respuesta Biológica	UVB	UVA
Bronceado		✓
Eritema	✓	
Hiperplasia epidérmica	✓	
Melanogénesis	✓	
Síntesis de Vitamina D	✓	
Inmunosupresión	✓	✓
Fotoenvejecimiento	✓	✓
Fotocarcinogenesis	✓	✓

(Eucerin, 2010)

1.3.3 Bronceado

Las radiaciones solares a las que están expuestos los seres humanos estimulan la producción de melanina en la piel y a esto se le conoce como bronceado. (Duro Mota & al., 2003)

Hay dos tipos de bronceado: el inmediato y el retardado. (Duro Mota & al., 2003). El bronceado inmediato comienza 30 minutos después de la exposición y lo inducen los rayos UVA, su intensidad depende de la fotooxidación de los melanosomas y los gránulos de melanina preexistentes (Portero, 2006); este tipo de bronceado no brinda protección frente al eritema solar.

Por otro lado, el bronceado retardado se manifiesta de 2 a 3 días después de la exposición y puede durar días, incluso semanas; y se causa por los rayos UVB que estimulan la melanogénesis (producción de nueva melanina). Este tipo de bronceado sí brinda protección frente a la quemadura solar, sin embargo, no disminuye el riesgo de cáncer cutáneo. (Duro Mota & al., 2003)

1.3.4 Fotoprotección

La piel tiene mecanismos de protección natural que absorben o desvían las radiaciones solares. Algunos factores de estos mecanismos se encuentran a nivel epidérmico y son: el ácido urocánico, la melanina, el ADN, el ARN y el triptófano; a nivel de la dermis están: la hemoglobina, la bilirrubina tisular y el betacaroteno de la grasa. Los pelos, la capa lipídica de la piel y los queratinocitos desvían alrededor del 5% de la radiación UV. (Duro Mota & al., 2003) Los mecanismos de protección natural no son suficientes para proteger la piel de la exposición solar, sin embargo hay otros métodos de protección como evitar los baños de sol por tiempo prolongado a horas donde la exposición es máxima o llevar ropa y accesorios protectores. (Duro Mota & al., 2003)

Los protectores o filtros solares sobre la piel ayudan a reducir los efectos nocivos del sol. Estos filtros actúan de dos maneras: reflejando las radiaciones incidentes o absorbiéndolas (Duro Mota & al., 2003). Los filtros solares se pueden clasificar en filtros químicos y no químicos. Los filtros químicos tienen como componente activo el carbono, en cambio los no químicos (físicos) son inorgánicos. La composición típica de los protectores solares comerciales se muestra en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Composición típica de los protectores solares.

Filtros	Acción	Espectro
Inorgánicos		
Dióxido de titanio al 25%	350	UVA, UVB
Óxido de cinc al 25%	380	

Orgánicos		
Filtros para UVA		
Benzofenonas		
Oxibenzonas al 6%	288-325	UVB, UVAII
Sulisobenzonas al 10%	366	UVA
Dioxibezona al 3%	352	UVA
Dibenzoilmetanos		
Avobenzona 3%	360	UVAI
Antralatos		
Meradimato al 5%	340	UVAII
Alcanfor		
Ecamsul (mexorilo SX)	345	UVB, UVA
Ácidoterephtalilideno		
diaalcanforsulfínico al *10%		
Filtros para UVB		
Aminobenzoatos (derivado PABA)		
PABA al 15%	283	UVB
Padimato O (octildimetil PABA) al 8%	311	UVB
Cinamatos		
Cinoxato al 3%	289	UVB
Octinoxate (octilmetoxicinamato) al 7,5%	311	UVB
Salicilatos		
Octilsalate (octilsalicilato) al 5%	307	UVB
Homosalat (homentilsalicilate) al 15%	306	UVB
Trolaminesalicilato al 12%		
Otros		
Octocrileno al 10%	303	UVB-UVAII
Ensulizolo al 4%	310	
Metileno-bis-benzotriazolila	305-360	
Tetrametilbutilfenol* (Tinosorb M) al 10%		UVB, UVA FILTRO INORGÁNICO Y ORGÁNICO
Bis-etilheloxifenol metoxifeniltriazina* (Tinosorb S) al 10%	310-340	

Filtros solares (FDA y COLIPA)

*No aprobados hasta la fecha por la FDA (Moreno, 2012)

1.3.5 Evaluación de la fotoprotección

Hay 4 métodos diferentes para determinar el Factor de Protección solar (FPS o SPF) y son (Batlle, 2005):

- FDA (estadounidense)
- DIN (alemán). Los valores de este método son la mitad de los valores arrojados por la FDA
- SAA (australiano). Los valores de este, son intermedios a los de los valores anteriores.
- COLIPA (europeo)

COLIPA es un método basado en la utilización de la respuesta eritemal; esta respuesta deriva de la Dosis Mínima de Eritema (MED), la dosis más baja de radiación UV que produce el primer eritema visible con bordes definidos, que aparecen en las zonas irradiadas de 16 a 24 horas después de la exposición. Con ayuda de un simulador solar, se irradian diferentes zonas de la espalda (entre la cintura y la línea de los hombros) con y sin producto de protección solar. Con ayuda de 10 o 20 resultados se calcula el FPS que es la relación establecida entre la MED con y sin aplicación de producto. Con ayuda de la inspección visual se valora la diferencia de color (COLIPA, 1994).

Con el fin de valorar la eficiencia de los protectores solares contra las quemaduras del sol, la FDA (Food and Drug Administration) aprobó como técnica de referencia el Factor de Protección Solar (FPS). Este factor es el tiempo de exposición solar necesario para empezar a un eritema mínimo visible en la piel. El FPS típico mide principalmente la protección contra la UVB, un FPS de 25 protege de un 92% de estas radiaciones, mientras que un FPS de 30 protege en más del 97%. (Moreno, 2012)

Actualmente, existen discrepancias sobre la determinación del FPS, porque el protector solar se evalúa con la aplicación sobre la superficie de la piel de $2\text{mg}/\text{cm}^2$, mientras que en la realidad las personas usan menos de $1.5\text{mg}/\text{cm}^2$ (Moreno, 2012), entonces la protección solar sería mucho menor. El protector solar ideal, según la bibliografía tendría al menos un valor de 30 y adicionalmente filtros UVA para ampliar al espectro de radiación. (Stenberg & al., 1985) (Azurdia & al., 1999).

Los métodos para la medición de la protección contra la UVA, han adoptado protocolos *in vitro* medidos por espectrofotometría y procesos *in vivo* que determinan la coloración inmediatamente o pasados unos días. Al final, en Japón clasifican el FPS en tres categorías, mientras que en los Estados Unidos combinan los protocolos *in vitro* y los procesos *in vivo* para extender las categorías a cinco niveles, que clasifican la protección desde ninguna hasta muy alta (Moreno, 2012)

1.3.6 Fotografía digital

La tecnología digital, ha promovido una gran popularización de registros fotográficos en varias áreas médicas. Debido a su naturaleza visual, la dermatología ha incorporado los

beneficios de esta herramienta en la práctica clínica y la investigación (Helio, 2006). La cámara digital se ha convertido en una herramienta esencial en la dermatología y su uso se ha incrementando con el pasar de los años (Scheinfeld NS, 2003) (Strauss RM, 2003)

La fotografía digital es útil para la medición colorimétrica de la piel, combinada con otras técnicas apropiadas como la iluminación y la filtración de la luz (Hong et. al, 2010). Con iluminación apropiada, se describe el uso de fuentes de luz de tungsteno (Hong, 2010), luces LED (Pladellorens, 2007) y con los filtros, se usan los filtros paralelos o perpendiculares, teniendo en cuenta que los filtros paralelos mejoran la inspección visual de la textura de la piel y los filtros perpendiculares mejoran las características subsuperficiales como la vascularización y la pigmentación (Bae & al., 2010)

1.3.6.1 Cámara digital

La cámara digital captura las imágenes por medio de sensores que funcionan por el efecto fotoeléctrico. La misma, hace la conversión analógica digital y almacena la imagen (Pérez, 2012). Existen cuatro tipos de cámara digitales que se clasifican según la tecnología del sensor que utilizan, están las CCD, las EMCCD, las CMOS y las ICCD (Andor, 2006).

1.3.6.1.1 Sensor CCD

La CCD (Charge-CoupleDevice) es un circuito integrado compuesto por condensadores acoplados. Estos detectores tienen como principio el efecto fotoeléctrico, que se refiere a la conversión de la luz recibida en corriente eléctrica (Gordillo, 2004). Mientras más intensa sea la luz que incide, más corriente se produce y más carga se almacena. Con esta carga se obtienen diferentes valores de voltaje que establecen los colores. Este fenómeno se repite para todos los píxeles de la imagen.

La sensibilidad de los sensores depende de la eficiencia cuántica del dispositivo, la cantidad de fotones que deben incidir sobre cada detector para convertir la luz en energía eléctrica. El número de electrones producido es proporcional a la cantidad de luz recibida. (Gordillo, 2004)

- **Eficiencia cuántica del sensor CCD**

Los fotones que inciden sobre la placa de silicio de un sensor CCD, se logran detectar si excitan al menos un electrón, que después debe ser percibido por un electrodo. El rendimiento del detector en este proceso se denomina eficiencia cuántica de un sensor CCD, que se refiere a la respuesta del mismo con respecto a las longitudes de onda. (Davidson, 2000), esta respuesta es expresada como curva QE (las siglas QE por su nombre en inglés Quantum Efficiency), en la que la probabilidad de detectar un fotón de

una longitud de onda particular se expresa en porcentaje. Por ejemplo si uno de cada 10 fotones es detectado, se tiene una QE del 10% (Andor, 2006). La **Figura 2** muestra una QE para una cámara CCD típica y la Figura 3 muestra una gráfica QE para una cámara Imaging source DMK 22AUC03.

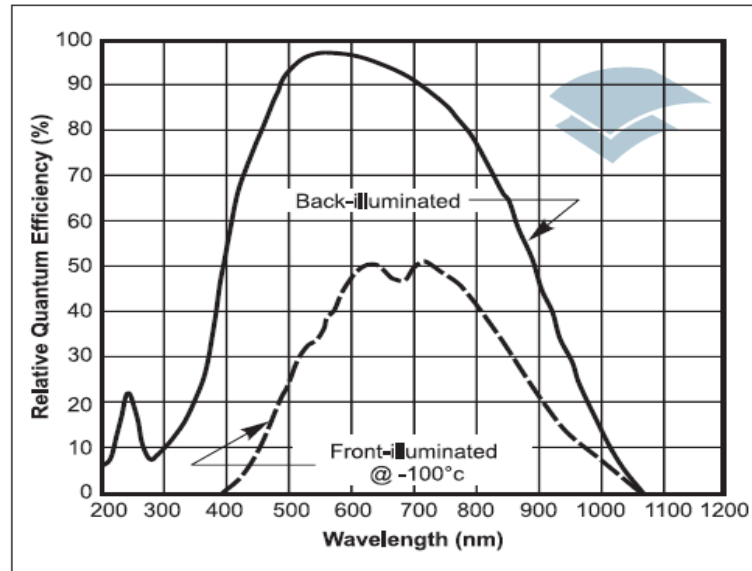


Figura 2. QE para una cámara CCD típica. (Andor, 2006)

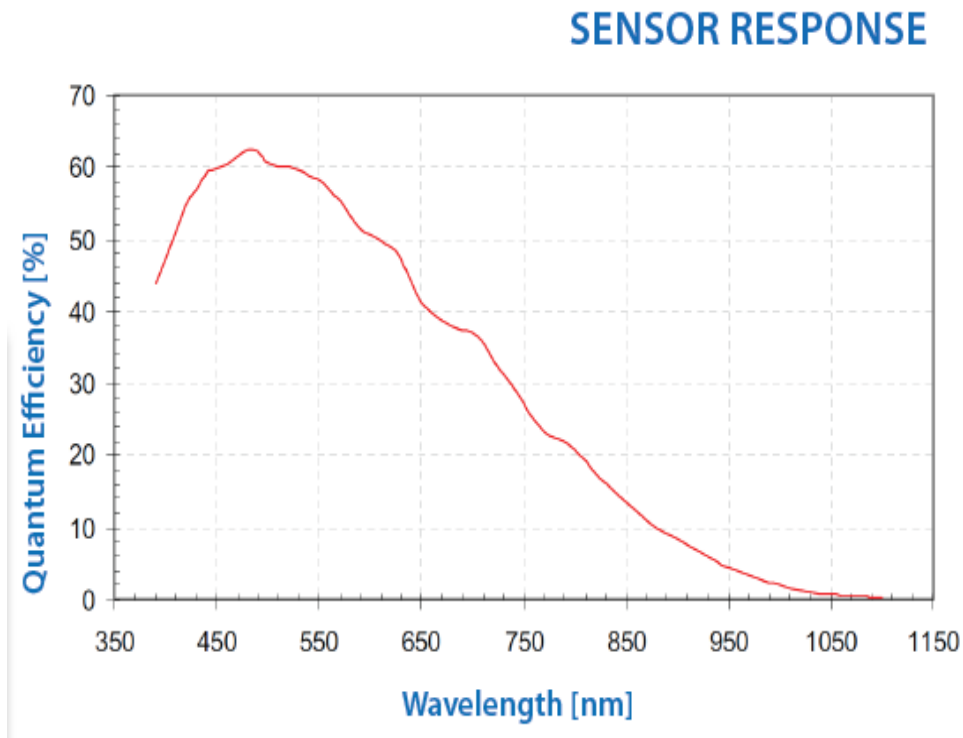


Figura 3. QE para una cámara ImagingSource DMK 22AUC03. (ImagingSource, 2011)

Las longitudes de onda más cortas son particularmente más absorbentes. Los fotones con mayores longitudes de onda, como los rojos, tienen una baja probabilidad de absorción por el silicio. Los fotones con longitudes de onda mayores no tienen energía suficiente para crear una carga y por esto no se pueden detectar con una CCD (Jpereira, 2010).

1.3.7 ILUMINACIÓN

Existen tres elementos principalmente involucrados en la percepción del color: la iluminación, el objetivo y el observador. Sin embargo algunos autores aseguran que la luz es la variable que más afecta la calidad de la imagen en la fotografía digital (Khavkin & al., 2011)

1.3.7.1 Fuente de luz

En la fotografía médica se han establecido diversas técnicas de iluminación, por ejemplo al usar el flash incorporado en la cámara, se obtiene una iluminación fuerte y poco uniforme. Igualmente, usar un iluminación de flash en forma de anillo para crear

uniformidad, puede desvanecer los colores y el tono de la piel. (Khavkin & al., 2011) En capturas sobre rejuvenecimiento, tratamientos faciales, enrojecimiento y pigmentación, es recomendable el uso de luz difusa y suave y la eliminación de sombras y líneas de contorno. (Khavkin & al., 2011)

La luz que recibe un objetivo puede modificar sus componentes del color. Por eso, para la estandarización de coordenadas de color, la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) formuló en 1931 unos estándares de iluminación que proponen distribuciones espectrales llamadas iluminantes (CIE, 2000)

- Iluminante A: representa una fuente de iluminación con una temperatura de color alrededor de los 2856° K.
- Iluminante B: la luz directa del sol alrededor de los 4874° K.
- Iluminante C: la luz indirecta del sol, cerca de los 6774° K.

Más tarde, la CIE agrega a la lista los estándares iluminantes D que representan la luz del día a diferentes temperaturas de color (X-rite, 2004)

- Iluminante D50: Hace referencia a temperaturas de 5000°K.
- Iluminante D65: Temperaturas a 6500°K.

Cuando se experimentan las consideraciones acerca de la iluminación para la captura de fotografías sobre pigmentación de la piel, se debe utilizar una fuente de luz que reproduzca o se acerque con un alto grado de confianza a los datos espectrales de un iluminante patrón (Roa & al., 2007), D50 para el caso de este trabajo, porque tiene mayor uniformidad en su distribución espectral, lo que ayuda a evitar el conflicto en el que las muestras coinciden en color bajo unas condiciones, pero no coinciden cuando las mismas se cambian, **Figura 4**. Se puede reconocer la influencia de diferentes fuentes de luz sobre la imagen si se mide la luminosidad y se compara a los valores del iluminante patrón. La luminosidad se puede calcular con el valor L^* del espacio de color L^*a^*b . El valor L^* indica el nivel de luz o de oscuridad de la imagen (HunterLab, 2008).

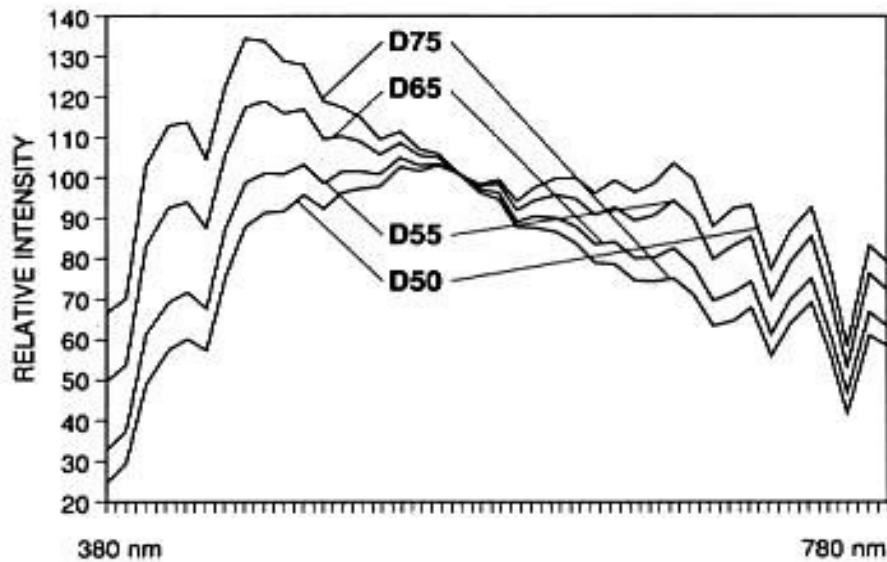


Figura 4. Comparación de la distribución espectral de los iluminantes CIE D50, D55, D65 D75. (Sersen, 1990)

1.3.8 ESPACIO DE COLOR

Un modelo de color es un modelo matemático que representa numéricamente los colores del espectro electromagnético, (Plataniotis & al., 2000) valiéndose generalmente de tuplas numéricas formadas por dos o tres componentes de color (LACIE, 2008).

Existen diversos modelos de color, entre ellos están el RGB, CMY y CMYK, HSV, y el modelo CIE.

1.3.8.1 Espacio RGB

La CIE establece la estandarización de los colores primarios que son: rojo en 700nm, verde 546.1nm y azul 435.8nm. (Marques, 2011)

El modelo de color RGB se describe sobre un plano cartesiano de tres dimensiones formando un cubo sólido. Cada eje del plano cartesiano representa un color primario.

Figura 5. (Marques, 2011). El punto de origen del cubo en las coordenadas (0,0,0), corresponde al color acromático blanco, y el punto (1,1,1) corresponde al brillo del color acromático negro.

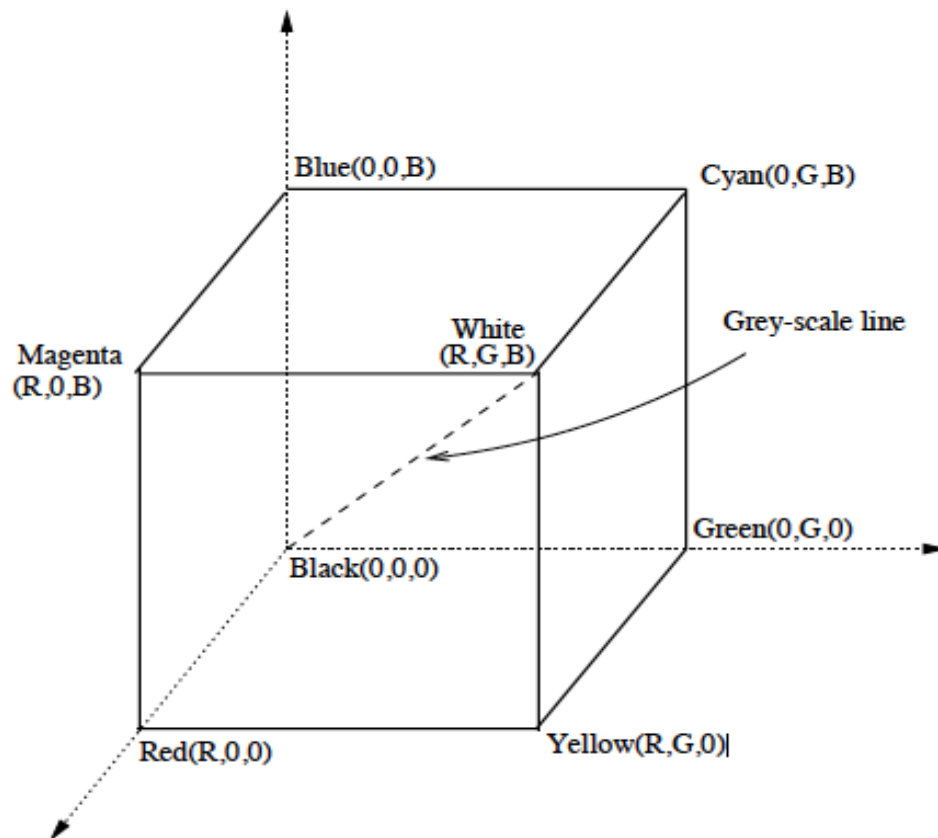


Figura 5. Modelo de Color RGB. (Marques,2012)

En la adquisición de imágenes, usualmente se usan cámaras digitales con tecnología CCD. Los CCD tienen un sensor y un filtro en forma de mosaico que contiene los colores primarios rojo, verde y azul. De esta manera, la imagen adquirida está preestablecida en el modelo de color RGB (por sus siglas en inglés Red, Green and Blue) (Valencia D, 2008) **Figura 6.**

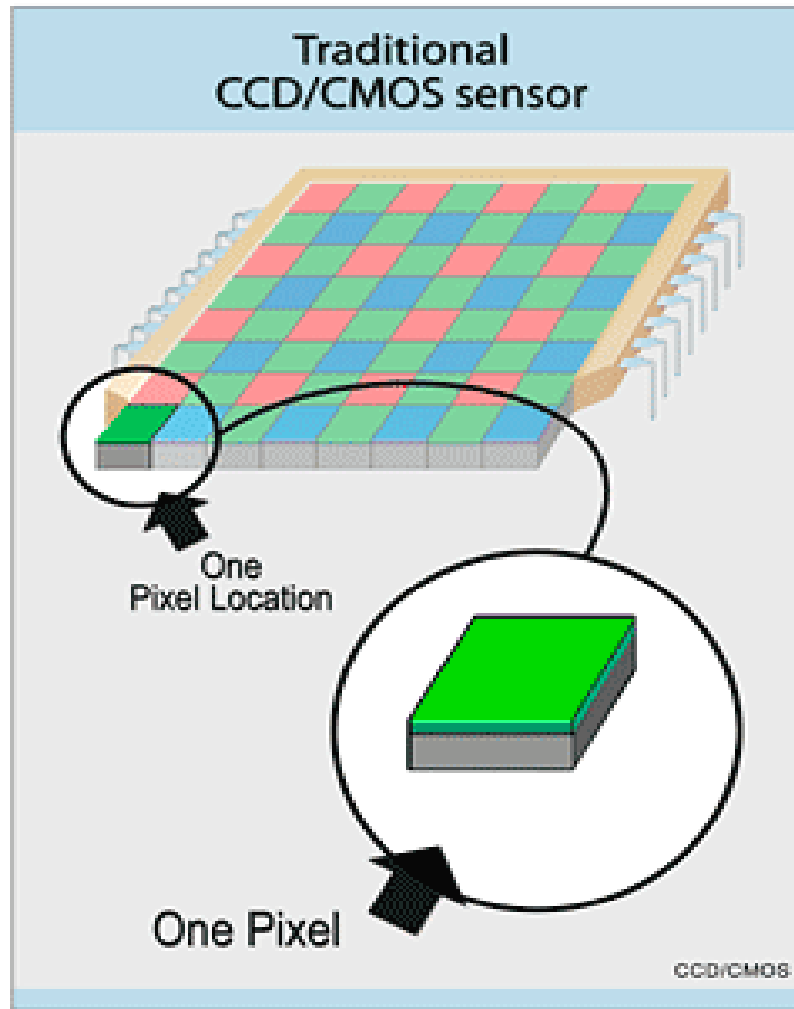


Figura 6. Sensor CCD/CMOS. (X3 TECHNOLOGY, 2010)

El espacio de color RGB tiene como principio la síntesis aditiva de los colores primarios, lo que posibilita obtener cualquier otro color. De ahí se puede concretar el espacio CMY que está definido por la síntesis sustractiva de los colores primarios, dando lugar a los colores magenta o púrpura, cyan o turquesa y amarillo (Marques, 2011) **Figura 7.**

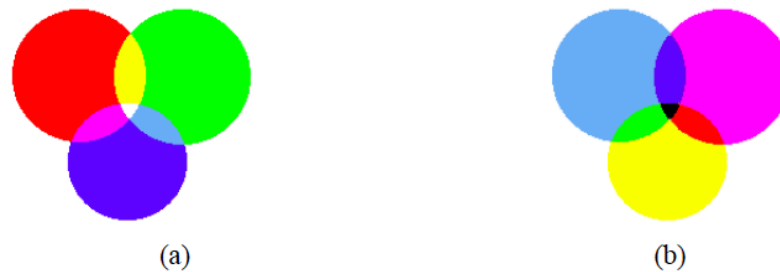


Figura 7. Síntesis aditiva (a) y sustractiva del color (b). (Marior, 2011)

1.3.8.2 Modelo CMY-CMYK

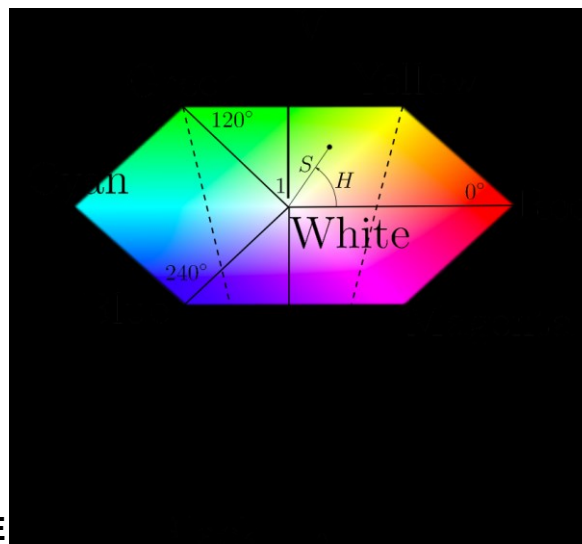
EL modelo de color CMY (por sus siglas en inglés Cian, Magenta y Yellow) se usa en dispositivos de impresión que son los que trabajan con pigmentos en la formación de colores, es decir, cada color está contenido en un cartucho con tinta (Marques, 2011) **Figura 7 (b)**. Para dar origen al modelo CMYK se adiciona el color negro (black).

1.3.8.3 Espacio HSV

La idea visual que tiene el ser humano de los colores se puede describir mediante los atributos de luminancia o intensidad, saturación y matiz. (Ortiz Zamora, 2002), (Marques, 2011). El modelo de color HSV dentro de su representación geométrica tiene estos atributos que se encargan de reproducir la percepción humana del color.

La geometría de este modelo se deriva del modelo de color RGB, al obtener un cono hexagonal de la línea diagonal “escala de grises” (Marques, 2011) **Figura 5**. Este hexágono tiene en cada vértice los colores primarios aditivos y sustractivos, el matiz se localiza por el ángulo que se va formando con el origen del hexágono y la saturación se describe con la distancia entre ejes: si un color está más saturado es porque la distancia entre ejes es muy larga. (Marques, 2011), **Figura 8**.

Figura 8. Modelo de color HSV. Cono Hexagonal. (Cattin, 2006)



1.3.8.4 Modelo CIE

La CIE se ha encargado de estudiar e investigar la percepción del color; de estas investigaciones ha obtenido amplios usos matemáticos en los diferentes modelos de color CIE (Plataniotis & al., 2000) La creación de estos modelos se ha basado en

experimentos, donde un observador humano juega el papel más importante a la hora de determinar esta percepción. El primer modelo matemático que se definió fue el modelo de color CIE 1931 o también llamado CIE XYZ (X-rite, Guía para entender la comunicación del color , 2002)

1.3.8.4.1 CIE XYZ

De acuerdo al sistema de visión humano, la CIE estableció el espacio CIE XYZ o estándar que se obtiene de la transformación del modelo RGB (triestímulos espectrales RGB: algunos otros colores se reproducen con un valor negativo de estímulo), donde los 3 colores primarios XYZ que se utilizan son imaginarios. (Ortiz Zamora, 2002)

La transformación del modelo RGB lineal al CIE estándar se da mediante la matriz que se muestra a continuación:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4125 & 0.3576 & 0.1804 \\ 0.2127 & 0.7156 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9502 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Los valores que presenta la matriz de transformación tiene relación directa con la sensibilidad espectral del sensor (cámara). Los que estan escritos hacen referencia al estandar RGBs propuesto por la ICC.

Cuando se habla del modelo RGB lineal, se refiere a que sus valores son una representación física de la cromaticidad de la luz que irradia un objeto. Sin embargo, la respuesta del sistema visual humano para irradiar rojo, verde y azul no es lineal. Los valores lineales de RGB no se usan mucho en imágenes, pero los valores no lineales de RGB, R'G'B' si son usados en procesamiento de imágenes. (Platanotis & al., 2000).

Los sistemas de adquisición están expuestos a capturar imágenes por la radiación de luz lineal recibida del objeto. Por esto, las intensidades del modelo RGB lineal en la cámara se transforman en R'G'B' usando un factor de corrección Gamma. (Platanotis & al., 2000)

$$R' = \begin{cases} 4.5R, & \text{if } R \leq 0.018 \\ 1.099R^{\frac{1}{\gamma_C}} - 0.099, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (a)$$

$$G' = \begin{cases} 4.5G, & \text{if } G \leq 0.018 \\ 1.099G^{\frac{1}{\gamma_C}} - 0.099, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (b)$$

$$B' = \begin{cases} 4.5B, & \text{if } B \leq 0.018 \\ 1.099B^{\frac{1}{\gamma_C}} - 0.099, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (c)$$

Ecuación 1

El factor γ_C , (Ecuación 1 a.), es una constante preestablecida en los sistemas de adquisición con un valor de 10/45 que es aproximadamente 2.22. (Plataniotis & al., 2000)

El rol que tiene el modelo de color XYZ es muy poco común dentro del procesamiento de imágenes, pero se considera importante, pues es el espacio de color intermedio que realiza transformaciones del modelo RGB a otros modelos como el CIE $L^*a^*b^*$ o el $L^*u^*v^*$.

Con el fin de presentar el espectro electromagnético en un diagrama, esta representación se hace sobre un plano 2D con el nombre de “diagrama de cromaticidad” (Ortiz Zamora, 2002) Este diagrama es un buen método para especificar colores. Cada uno de los valores que están sobre la línea curva, indican la posición de los colores espectrales desde el violeta a 380nm hasta el rojo de 780nm. La coordenada E representa el color acromático blanco que se conoce como equinergético **Figura 9** (Ortiz Zamora, 2002)

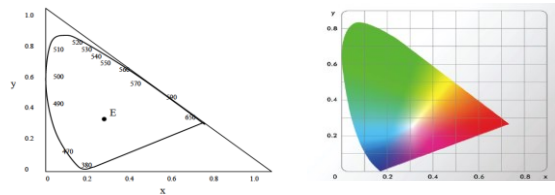


Figura 9. Diagrama cromático (X, Y) estándar de la CIE. (Ortiz, 2002)

1.3.8.4.2 CIE $L^*a^*b^*$

A partir del modelo no lineal $R'G'B'$ se puede obtener el modelo CIE $L^*a^*b^*$, donde los valores de L^* , a^* , b^* están definidos por: (Ortiz Zamora, 2002)

$$L^* = \begin{cases} 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 & \text{si } \frac{Y}{Y_n} > 0.008856 \\ 903.3 \left(\frac{Y}{Y_n} \right) & \text{si } \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856 \end{cases}$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right]$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right]$$

Ecuación 2

X_n, Y_n, Z_n son las coordenadas de un blanco de referencia.

Los valores de L^* van de 0 a 100 y representan los niveles de gris. Donde $L^*=0$ es el negro y $L^*=100$ es el blanco. Además, los valores de a^* y b^* van de -60 a 60, (Ortiz Zamora, 2002) donde a^* va de magenta a verde y b^* va de amarillo a cyan. (Platanotis & al., 2000)

El espacio de color CIE $L^*a^*b^*$ permite hallar la diferencia de color (DE_{ab^*}) entre dos colores expresada en términos de $L^*a^*b^*$, corresponde a la distancia euclidiana entre ellos. **Ecuación 3.**

$$DE_{ab^*} = [(DL^*)^2 + (Da^*)^2 + (Db^*)^2]^{1/2}$$

Ecuación 3.

1.3.8.4.3 CIE $L^*C^*h^*$

La escala de color CIE $L^*C^*h^*$, corresponde a un espacio de color en coordenadas polares, calculadas a partir de los valores CIE $L^*a^*b^*$ y es aproximadamente uniforme. El L^* corresponde igualmente a la iluminación, mientras que el valor C^* indica la cromaticidad y el valor h^* el matiz (X-rite, Guía para entender la comunicación del color, 2002). Los delta básicos en esta escala son: DL^* , DC^* y Dh^* ; Y la diferencia total DE^* es la misma que para el espacio CIE $L^*a^*b^*$.

1.3.9 Situación legal

Según el decreto 677 de 1995 "por el cual se reglamenta parcialmente el Régimen de Registros y Licencias, el Control de Calidad, así como el Régimen de Vigilancia Sanitaria de Medicamentos, Cosméticos, Preparaciones Farmacéuticas a base de Recursos Naturales, Productos de Aseo, Higiene y Limpieza y otros productos de uso doméstico y se dictan otras disposiciones sobre la materia", el parágrafo 3° describe: "Los productos a los cuales se les asigne un factor de protección solar (F.P.S.) mayor de seis (6), deben presentar estudios que lo justifiquen. Igualmente, para los productos enunciados como hipoalergénicos, clínica o dermatológicamente probados, se deben allegar estudios clínicos que sustenten dichas propiedades" (Samper, 1995).

2 METODOLOGÍA

El desarrollo de este trabajo de grado se enfocó en el cumplimiento consecutivo con actividades. El componente experimental de este proyecto no permite especificar en detalle cualidades limitantes en el desarrollo de las etapas.

ETAPA 1: Definición de las características involucradas en la obtención de la imagen digital de la pigmentación de la piel.

- Revisión Bibliográfica (antecedentes y estado del arte en fotografía digital y su uso en cosmética).
- Identificación de las necesidades especiales para la adquisición de imágenes de la piel.
- Establecimiento de los parámetros o de las especificaciones que debe cumplir un sistema de valoración por imágenes para la estimación de la pigmentación de la piel en pruebas de protección solar.

ETAPA 2: Diseño de un sistema mecánico y digital para estimación de la pigmentación de la piel.

- Diseño conceptual del sistema mecánico.
- Verificación del diseño del sistema mecánico con pruebas enfocadas a calificar el comportamiento de las variables definidas en la Etapa 1.
- Diseño conceptual del software de adquisición y procesamiento de la imagen.
- Desarrollo del software para la adquisición de imágenes de la piel.

ETAPA 3: Diseño del protocolo de uso para el sistema de adquisición y procesamiento de imágenes para evaluación de pruebas de protección solar.

- Estandarización del uso del sistema completo y la manipulación del software.

- Redacción del protocolo de uso para el sistema de adquisición y procesamiento de imágenes para evaluación de pruebas de protección solar.

ETAPA 4: Validación del sistema de adquisición y procesamiento de imágenes para la evaluación de pruebas de protección solar con los resultados de otros métodos y de artículos referenciados.

- Realización de pruebas de funcionamiento del sistema.
- Obtención de imágenes y variables.

3 SISTEMA DE VALORACIÓN POR IMÁGENES PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PIGMENTACIÓN DE LA PIEL EN PRUEBAS DE PROTECCIÓN SOLAR

3.1 CARACTERÍSTICAS PARA LA OBTENCIÓN DE LA IMAGEN DIGITAL DELA PIGMENTACIÓN DE LA PIEL

La información referenciada concluye que las principales características involucradas en la adquisición de imágenes representativas de cambios de variables en la piel son: el observador (cámara), el fondo, la iluminación y la geometría (Bae & al., 2010) (Khavkin & al., 2011) (Pladellorens, 2007) (Hernández & al., 2010) (Goldino & al., 2001). A continuación, se describen las metodologías y los resultados de pruebas experimentales para la obtención de los valores de estas variables. Estos valores son los que más se adaptan al propósito del sistema de valoración por imágenes para la estimación de la pigmentación de la piel en pruebas de protección solar.

3.1.1 Iluminación

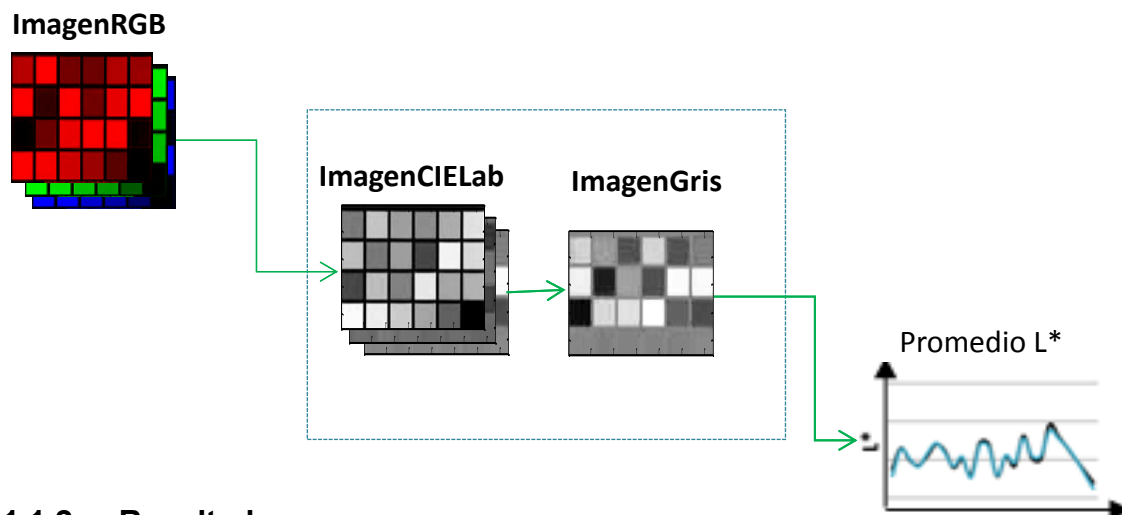
Con el fin de escoger el mejor tipo de iluminación para la adquisición de imágenes sobre pigmentación de la piel, se hicieron capturas sobre tres objetivos fotográficos: White Balance Card (WBC), las 24 muestras de la Color Rendition Chard (CRCh), Gray Scale Balance Card (GSB) (Color Checker; X-rite-Incorporated, Grand Rapids, Michigan) y usando tres diferentes fuentes de luz: I) dos líneas de luz LED, II) una luz blanca en forma de anillo y III) una luz blanca con una luminaria en forma de cono. En todos los casos, la fuente de iluminación se ubicó perpendicular al objetivo. En los casos I) y II) se situó la cámara paralela a la iluminación y en el III) la cámara se dispuso formando un ángulo de 20° con la iluminación y el objetivo.

La toma de fotografías se realizó con un cámara digital PL20 (Samsung Electronics HK Co; Samsung Town, Seúl, Corea), configurada con las siguientes especificaciones: número f, 3.5; velocidad del disparo, 1/60s; ISO, 80; flash, off; tamaño, resolución 1M (1024x768 píxeles). La distancia entre la cámara y el objetivo se mantuvo constante a 40 cm. Para disminuir los efectos del ambiente en las imágenes, todas las fotografías se obtuvieron en una habitación oscura usando solo una caja con fondo blanco y el elemento iluminador. La función balance de blancos se usó con la WBC como punto de referencia para garantizar que los colores capturados fueran relativamente auténticos.

El valor de luminancia de cada color se consiguió transformando las imágenes RGB a valores L^*a^*b y se calculó el canal de interés L^* ; utilizando el software Matlab R2011b (The Mathworks, Inc; Natick, Massachusetts) código **Figura 10**. Los datos se tabularon con el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies, Inc; Warrenton, Virginia). Se realizó regresión lineal con $r^2 > 0.9$ como significativo. Se hizo un

análisis de correlación con un $r > 0.9$ como significativo para las asociaciones entre los valores estándares de luminancia de la WBC, proveídos por GretagMacbeth (Pascale, 2004) y los obtenidos con las tres fuentes de luz, los resultados se confirmaron con gráficos de dispersión elaborados en el software Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, Estados Unidos).

Figura 10. Diagrama de bloques del código para hallar el valor L^* . Fuente personal.



3.1.1.2 Resultados

Se obtuvieron un total de 216 imágenes a partir de los 24 colores de la CRCh, con las tres fuentes de iluminación y se hicieron 3 capturas para todas las condiciones.

Se calculó el valor promedio de L^* de todas las imágenes y se obtuvo la correlación de Pearson entre cada tipo de iluminación comparado con los datos L^* promedio de la CRCh. **Tabla 3.** Hubo correlación positiva significativa entre L^* de la iluminación II) y III) y el L^* estándar de la CRCh con valores r de 0.954 y 0.980 respectivamente. Mientras que el valor r de la iluminación I) fue de 0.857 con respecto al valor de control. Sin embargo se realizó un nuevo análisis con los colores de la CRCh pertenecientes a la gama de colores de la piel y se encontraron valores r igualmente significativos para las iluminaciones II) y III), $r=0.905$, $r=0.945$ respectivamente y no significativo para la iluminación I) $r=0.723$.

La luminosidad más cercana al patrón L^* del iluminante D50 para la CRCh se logró con la iluminación III), a pesar de que los valores del tipo de iluminación II) siguieron la misma tendencia, **Figura 11.**

Tabla 3. Correlación de Pearson entre cada tipo de iluminación comparado con los datos L^* promedio de la CRCh para el iluminante D50.

	x-rite D50	x-rite D65	I	II	III
x-rite D50	1	0.999729	0.856805	0.954382	0.980182
x-rite D65	0.999729	1	0.863257	0.955271	0.98133

Tabla 4. Correlación de Pearson entre cada tipo de iluminación comparado con los datos L* promedio de la CRCh para el iluminante D65.

	x-rite D50	x-rite D65	I	II	III
x-rite D50	1	0.980953	0.72306	0.90533	0.94459
x-rite D65	0.980953	1	0.65687	0.87888	0.90937

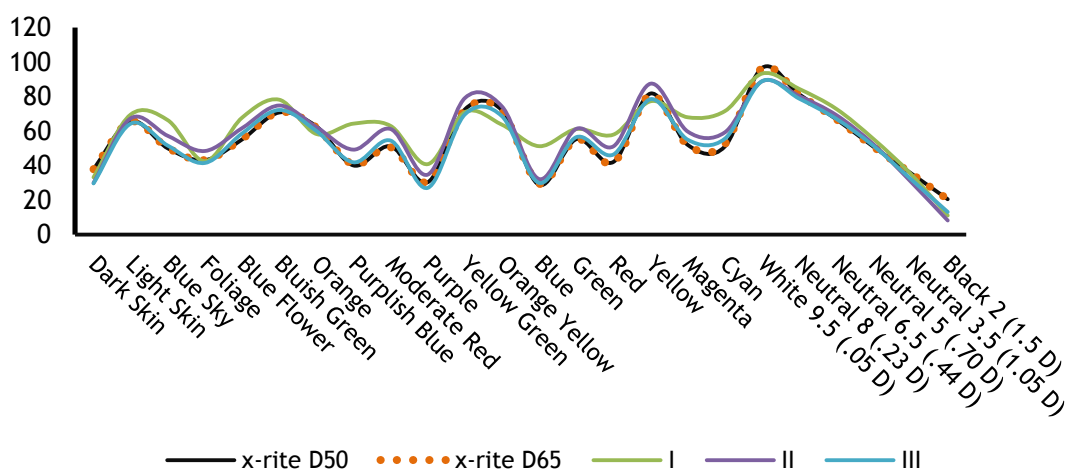


Figura 11. Tendencia de los datos L* promedio de la CRCh para el iluminante D50 comparado con los tipos de iluminación I, II y III.

3.1.2 Fondo

A partir de los resultados obtenidos en las pruebas de iluminación, las condiciones bajo las cuales se hicieron las capturas para discriminar el color del fondo fueron: observador paralelo al objetivo, luz de 6500 K° de temperatura de color a un ángulo de 20°, luminaria en forma de cono y cabina en forma trapezoidal. Todas las capturas se realizaron con una cámara Samsung PL20 configurada con las siguientes especificaciones: número f, 3.5; velocidad del disparo, 1/60s; ISO, 80; flash, off; tamaño, resolución 14M.

Se estudió la influencia que tiene el fondo con un color específico en la percepción electrónica de la imagen. Se obtuvo la fotografía de un dedo sobre cada uno de los fondos: Rojo(L*=59.125, a*= 69.623, b*= 39.872), Azul(L*=49.176, a*=10.651, b*=56.659), Verde(L*=33.536, a*=-12.359, b*=1.763), Blanco(L*=80.684, a*=0, b*=0), Negro(L*=14.284, a*=0, b*=0), y dos tonos de Gris(L*=63.372, a*=1.990, b*=-0.315) y Gris(L*=69.075, a*=4.507, b*=-1.730); De la imagen, se analizó con Matlab una matriz de 1x572 píxeles (Matriz I) representativos del fondo y las texturas de la piel. El primer paso del análisis fue hallar DE* y después L*. **Ecuación 4. (a) y (d)**, para el cálculo de la diferencia se tomó como referencia el promedio de varios píxeles del fondo (PRF). **Figura 12.**

$$\text{Ecuación 4. } DE^* = (DL^{*2} + Da^{*2} + Db^{*2})^{1/2} \quad (a)$$

$$DC^* = C^*_{PRF} - C^*_{Matriz I} \quad (b)$$

$$\text{Donde, } C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$DH^* = (DE^{*2} - DL^{*2} - DC^{*2})^{1/2} \quad (c)$$

$$DL^* = L^*_{pixel} - L^*_{imagen} \quad (d)$$

(HunterLab, CIEL*C*h, 2008)

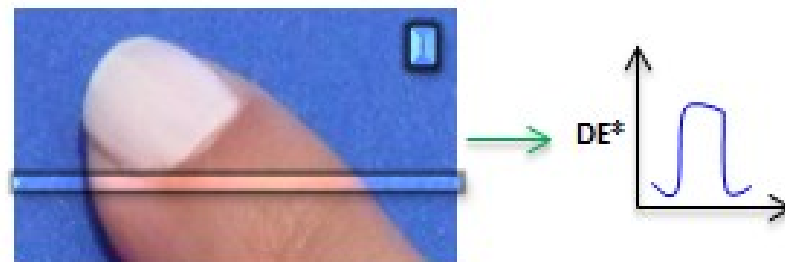


Figura 12. Procedimiento para encontrar la diferencia de color entre una matriz de 1x572 píxeles y un píxel representativo del fondo. Fuente personal.

3.1.1 Resultados

Este experimento cuantifica los cambios DE^* y el valor L^* entre el color del fondo y el color de la piel. Los hallazgos encontrados se describen así:

La diferencia de color entre el fondo y la piel es significativa para todos los casos y perceptible visualmente **Figura 13**. El menor valor de DE^* se observa en el fondo rojo. Este efecto es debido a que uno de los pigmentos que causan el color de la piel es la hemoglobina oxigenada.

De la **Figura 14**, se concluye que los tonos grises tienen una diferencia de color mayor que la del rojo y menor que la de los fondos restantes. El gris es un color acromático que solo toma valores en el canal L^* del espacio CIE $L^*a^*b^*$ (X-rite, 2002), para este cálculo, se partió de la hipótesis de que los grises por no tener matiz ni tono, tienen una diferencia de color considerable respecto al tono de piel. Sin embargo, se evidencian mayores diferencias de color con el fondo verde y el azul porque son fondos que se alejan más de la gama de colores de la piel; y con el blanco y el negro porque tienen valores de luminancia más extremos (ver **Figura 15**).

Según el DE^* todos los fondos excepto el fondo rojo podrían usarse en fotografías de piel. Con el fin de tomar una decisión, se procede a calcular los valores de L^* de las mismas imágenes, (**Figura 15**) donde se observa que bajo condiciones iguales de adquisición, la luminancia de la piel cambia según la luminancia del fondo por el principio de funcionamiento del sensor CCD que se describe en la sección 1.3.6.1.1. Brevemente, la eficiencia cuántica del sensor CCD se refiere a la cantidad de fotones que deben incidir sobre cada detector de la cámara para convertir la luz en energía, por esto, y si se tiene en cuenta que la luminancia es la energía que un observador percibe (X-rite, 2002) se puede ver en la **Figura 15** que fondos con menor luminancia hacen que el observador electrónico perciba una imagen con un L^* mayor, es decir más clara. Por esto se consideraron como las mejores opciones los fondos blanco y gris claro porque con esta cantidad de energía se ayuda a disminuir el error en la eficiencia cuántica de la percepción.



Figura 13. Fotografía de un dedo sobre cada uno de los fondos. Fuente personal

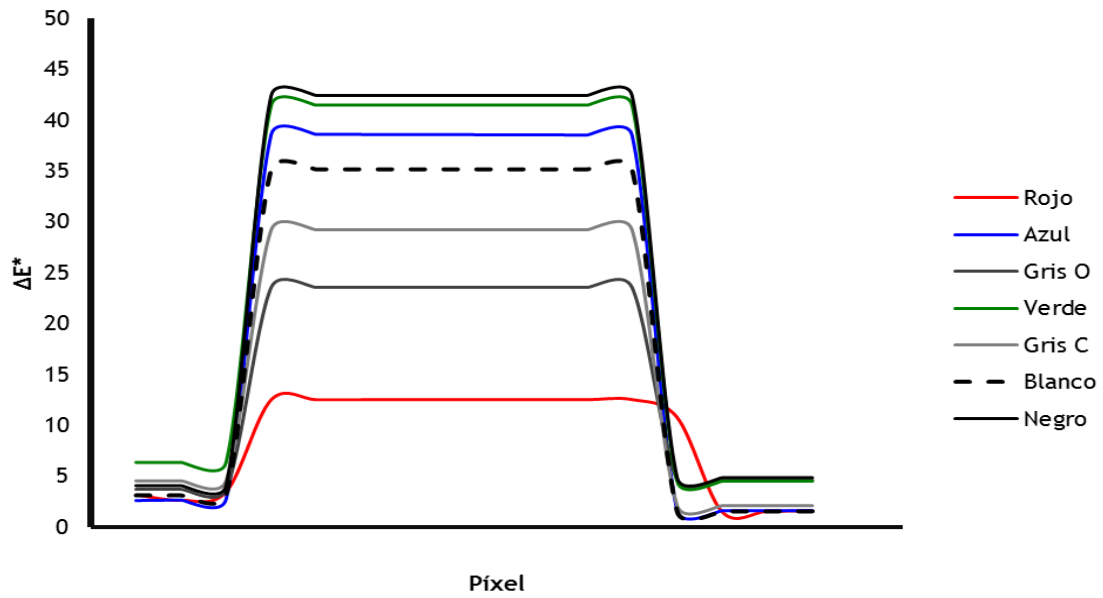


Figura 14. ΔE^* entre el fondo y el dedo, para cada color de fondo. Fuente personal

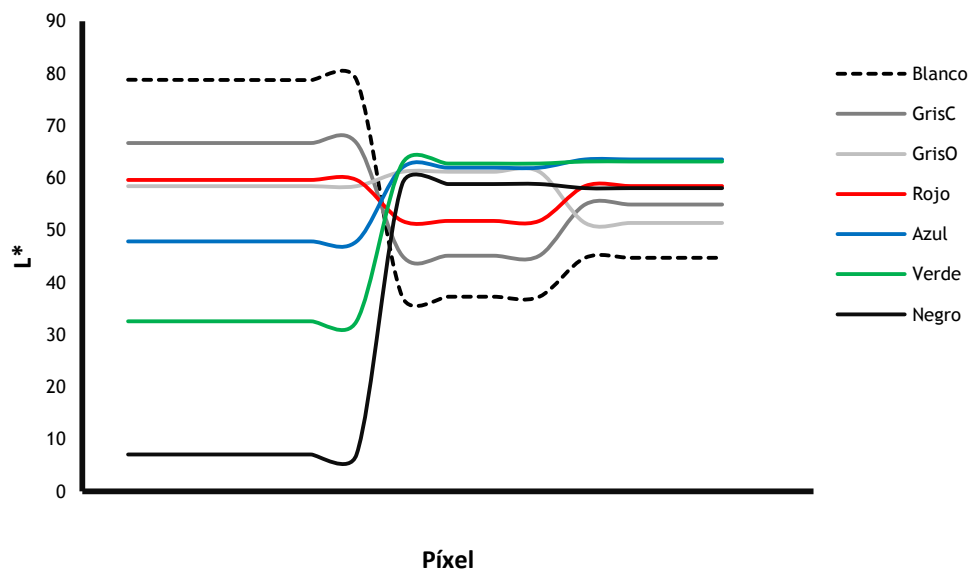


Figura 15. L^* entre el fondo y el dedo, para cada color de fondo. Fuente personal

3.1.3 Ángulo

En la selección del ángulo se usó una fuente de luz de 6500°k con una luminaria que direccionó el flujo luminoso a través de una abertura circular de 3 cm de diámetro en una cabina en forma de trapecio.

Se hicieron capturas a un objetivo con varios ángulos de iluminación. La cámara siempre estuvo paralela al objetivo. La iluminación se ubicó en ángulos de 90°, 45° y 20°. Para la captura de las imágenes se usó una cámara Samsung PL20 y se hizo el balance de blancos con la WBC como referencia, para garantizar que los colores capturados fueran auténticos, (Todas las capturas se realizaron con una cámara Samsung PL20 configurada con las siguientes especificaciones: número f, 3.5; velocidad del disparo, 1/60s; ISO, 80; flash, off; tamaño, resolución 1M)

3.1.3.1 Resultados

A partir de la observación de las fotografías que se obtuvieron con las diferentes geometrías, se puede notar que usando la iluminación a 45° hay interferencias en la imagen causadas por sombras, mientras que con la iluminación de 20° se observó una reducción en las sombras no muy considerable por tratarse en ambos casos de la misma superficie. Si la superficie es mate, la geometría de la iluminación no es crítica (Valencia & al., 2005) **Figura 16.**

La iluminación situada perpendicular a la imagen obstruye la ubicación del observador que también debe conservarse a 90° del objetivo para reducir los errores de enfoque y de geometría (Valencia & al., 2005) por esto al disponer la luz a 90° fue necesario mover el ángulo del observador lo que concluye una imagen distorsionada. **Figura 16 c.**

Se consideró entonces una luz a 20° del objetivo para el propósito de este sistema de adquisición de imágenes de la piel.

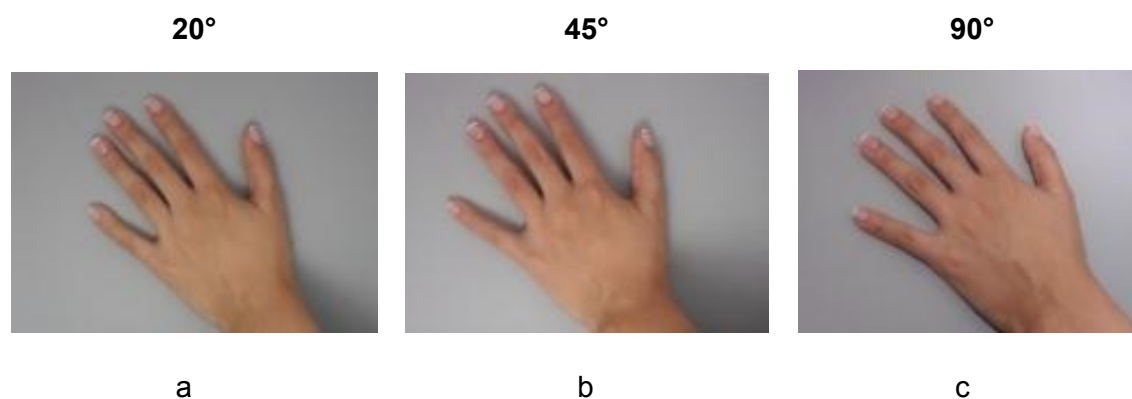


Figura 16. Iluminación con tres geometrías diferentes. Fuente personal.

3.2 DISEÑO DE UN SISTEMA FÍSICO Y DIGITAL PARA ESTIMACIÓN DE LA PIGMENTACIÓN DE LA PIEL

3.2.1 Identificación de la necesidad

Con el fin de identificar la necesidad se hizo una recopilación inicial de los métodos actuales usados en la valoración de la efectividad del protector solar, para esto se realizó una entrevista a Enrique Muñoz Carnago, coordinador de Estudios Clínicos del Centro de la Ciencia y la Investigación Farmacéutica, CECIF:

- **¿Para qué validar un test de protección solar?**

Cada vez más el mercado cosmético mundial muestra la importancia que se le da al componente científico de los protectores solares, por el interés que tienen los consumidores de comprobar que el producto que usan si satisface lo que publicita.

- **¿Qué método se utiliza, actualmente, para evaluar la efectividad del protector solar?**

Se hace una exposición a luz UV en un área de la piel sin protección, otra con aplicación el producto de prueba y una última área con una formulación de referencia. Entre 16 y 24 horas después se hace una inspección visual de la piel.

- **¿Qué se busca con la implementación de un sistema de valoración con imágenes digitales del nivel de bronceado?**

Es importante que se pueda hacer una evaluación del comportamiento de un protector solar con rangos de color específicos que estandarice la opinión de los profesionales en el tema, que tenga en cuenta el color de la línea base y que pueda percibir rangos cromáticos y cambios que la visión humana no puede apreciar.

Además de la entrevista para la identificación de la necesidad, se observó el método actual para la revelación de necesidades no especificadas en la entrevista. La lista de necesidades se resume en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Identificación de la necesidad

Número	Enunciado	Necesidad	Importancia
1	Percepción de cambios de color que la visión humana no puede apreciar	Cuantificar diferencias de color	5
2	Fidelidad en la interpretación	Estandarización de la adquisición y cálculo de la línea base	5
3	Que los valores arrojados correspondan con los valores reales	Suministre información precisa	5
4	Que el entorno no intervenga en el procesamiento de la imagen	Que la iluminación sea uniforme y no produzca sombras	5
5	Que el entorno no intervenga en el procesamiento de la imagen	Que el fondo sea acromático	5
6	Que se fije a la superficie corporal	Brindar estabilidad entre el dispositivo y la superficie corporal	4
7	Facilidad al manipular el dispositivo	Redacción de un protocolo de uso	4
8	Fácil ensamble	Que tenga partes armables y de fácil acoplado	3
9	Facilidad al manipular el dispositivo	La interfaz sea de fácil entendimiento	3
10	Que se pueda transportar	Que sea portátil	2
11	Asequible	Fácilmente reproducible	2

Tabla 6. Lista de medidas y valores

Número	Número de la necesidad	Medida	Unidades	Valor Marginal	Valor Ideal
1	1	Diferencia de color	N/A	=1	>=1
2	2	Tamaño de la imagen	Mega píxeles [M]	3	1
3	3	Temperatura de color	°K	5500	6500
4	8	Dimensiones de la base	cm		
5	10	Peso	g	<1000	<500
6	4	Ángulo iluminación	Grados (°)	45	20
7	5	Fondo acromático	N/A	-	-
8	12	Velocidad del software	Segundos	60	30
9	9	Tiempo de instalación	Minutos	10	5
10	6	Estabilidad	N/A	-	-
11	7	Instrucciones de manejo	N/A	-	-
12	11	Reproductibilidad	N/A	-	-

3.2.2 Generación del concepto

Después de identificar las necesidades y generar la lista de medidas y valores, el siguiente paso es la generación del concepto. Se empieza por la identificación de las entradas y las salidas del sistema en la caja negra **Figura 17** y la definición de funciones y sub-funciones en la caja transparente **Figura 18**.

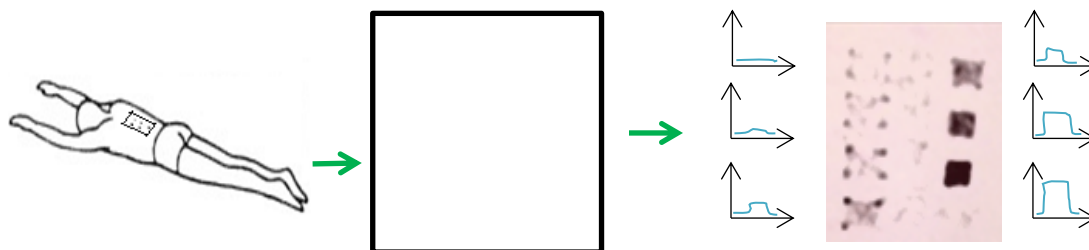


Figura 17. Caja negra.

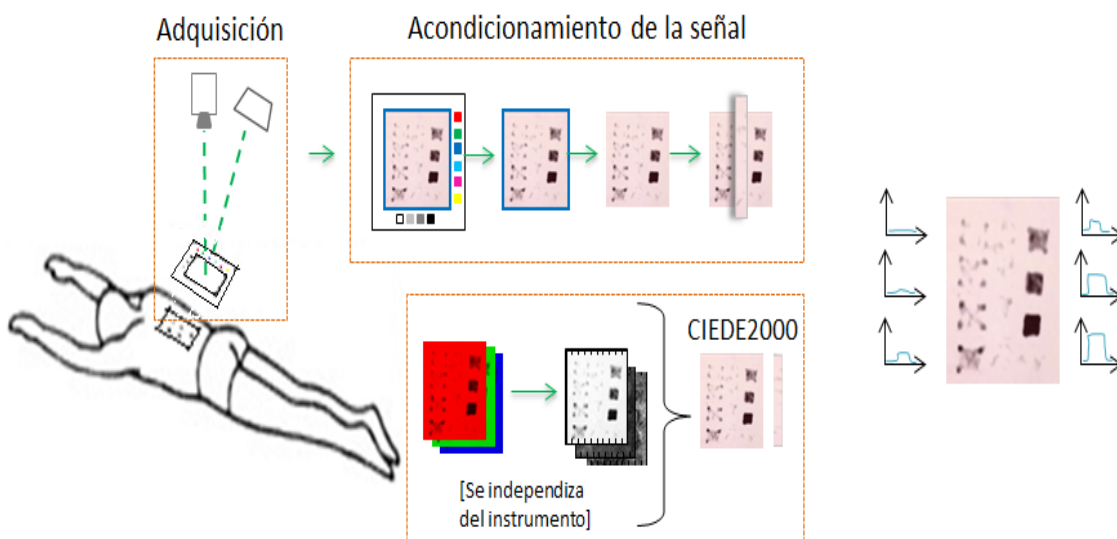







Figura 18. Caja transparente.

Con la caja transparente definida, se establece la búsqueda de los elementos necesarios y existentes en el mercado para darle solución a las necesidades establecidas. Dentro de todas las posibles soluciones, se plantea la matriz morfológica que se compone con cada uno de los elementos necesarios para la elaboración del Sistema de Valoración por Imágenes para la estimación de la pigmentación de la piel en pruebas de protección solar.

Tabla 7. Matriz Morfológica de conceptos de Solución

FUNCIÓN	SOLUCIÓN 1	SOLUCIÓN 2	SOLUCIÓN 3
CÁMARA	 Cámara Samsung PL20	 Cámara Imaging Source CCD	 Cámara Canon DSLR
ILUMINACIÓN	 Anillo Fluorescente de Iluminación	 Rollo de LEDs	 Luminaria
FONDO		Contorno de 	
Geometrías cabina de adquisición	 Caja Negra	 Forma Trapezoidal	

Cubierta de la cabina	 MDF	 Acrílico	
Geometría Iluminación-cámara	 20º	 45º	 90º

3.2.2.1 Sistema de Captura.

Para la adquisición de imágenes es fundamental contar con una cámara CCD apropiada, que tenga criterios de resolución y adquisición ideales en fotografía dermatológica.

Tabla 8. Solución Sistema de captura cámara industrial

Tipo	Cámara Industrial
Característica	Cámara Industrial USB CCD. 744x480 pixel, 150 imágenes/s Lente. (8mm)
Ventaja	Cámara sin pre-procesamiento, ni almacenamiento en tarjeta SD. Captura de la imagen directamente con el software implementado. Visualización de la imagen en tiempo real.
Desventajas	Criterios de evaluación del lente.

Tabla 9. Solución Sistema de captura cámara compacta

Tipo	Cámara Samsung PL20
Característica	Cámara compacta, Resolución 14 Mega pixeles
Ventaja	Display de visualización. Resolución 14 Mega pixeles. Balance de Blancos. Sensor CCD.
Desventajas	Cámara con pre-procesamiento, y almacenamiento en tarjeta SD y formato de compresión jpg pre-establecido. Tamaño grande para el dispositivo implementado.

Tabla 10. Solución sistema de captura cámara DSLR

Tipo	Cámara Canon DSLR EOS Rebel T3i
Característica	Cámara de espejo, Resolución 18 Mega pixeles. Display LCD 3"
Ventaja	Formatos de archivo JPEG y RAW. Sensor CMOS.
Desventajas	Cámara con pre-procesamiento, y almacenamiento en tarjeta SD y. Tamaño demasiado grande para el dispositivo implementado.

3.2.2.2 Sistema de Iluminación

El sistema de iluminación es importante, pues esta característica influye indiscutiblemente en la percepción relativa del color del objeto hecha por el observador.

Tabla 11. Solución sistema de Iluminación LED

Tipo	Iluminación LED
Característica	Vida útil de 50.000 horas. Genera intensidades mínimas 300mW/cm ² hasta 1600mW/cm ² Temperatura de color 5500K a 6500K Flujo luminoso 240-300 lm
Ventaja	Ahorran hasta 80% de energía. Conexión a batería
Desventajas	Mala distribución espectral

Tabla 12. Solución sistema de Iluminación Lámpara 6500k

Tipo	Lámpara 6500K
Característica	Vida útil 12 años. Flujo luminoso 804 lm
Ventaja	Económicas. Reproduce los valores del iluminante patrón
Desventajas	Conexión directa a 120V AC

Tabla 13. Solución sistema de Iluminación Lámpara 6500k en forma de anillo.

Tipo	Luz 6500K en forma de anillo
Característica	Vida útil 12 años. Flujo luminoso 804 lm
Ventaja	
Desventajas	Geometría de la luz. Desvanece los colores típicos de la piel

3.2.2.3 Cubierta del dispositivo

El sistema de valoración centraliza los elementos como la cámara y la iluminación con una cubierta que es portátil para la ubicación deseada por el usuario.

Tabla 14. Solución cubierta del dispositivo en Madera

Tipo	MDF
Características	Livianas. Construidas con mezcla de pequeñas partículas de madera, prensadas en condiciones de presión y temperaturas controladas.
Ventaja	Material económico, liviano y fácil de transportar
Desventajas	Poco resistente a la humedad y a los golpes. Se debe pintar.

Tabla 15. Solución cubierta del dispositivo en Acrílico

Tipo	Acrílico
Características	La resistencia al impacto es muy buena.
Ventaja	Índice de luz superior a otros materiales. De colores, sin necesidad de pintar.
Desventajas	Costo con respecto a otros materiales

3.3 Selección del Concepto

Para la selección de cada concepto, se le asigna a cada uno de ellos un porcentaje según la importancia del criterio dando una suma total del 100%. Una vez calificados los conceptos según la **tabla 16**, se obtiene una puntuación ponderada multiplicando el porcentaje asignado al criterio y la calificación del concepto, proporcionando la puntuación total.

Por cada criterio se selecciona un concepto que es utilizado como referencia, para calificar los demás conceptos. La puntuación más alta es la que da a conocer el concepto a elegir.

Tabla 16. Calificación de conceptos

Desempeño Relativo	Calificación
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que la referencia	3
Mejor que la referencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

Tabla 17. Selección del concepto de captura

Video		Concepto					
		Cámara Industrial USB CCD		Cámara Samsung PL20		Cámara Canon DSLR	
Criterio de Selección	Peso	Calificación	Puntuación ponderada	Calificación	Puntuación ponderada	Calificación	Puntuación ponderada
Resolución	25%	3	0.75	5	1.25	5	1.25
Rata de adquisición	40%	4	1.6	2	0.8	3	1.2
Peso	25%	3	0.75	2	0.5	2	0.5
Facil ensamble	10%	3	0.3	4	0.4	4	0.4
Puntuación total		3.4		2.95		3.35	
Rango		1		3		2	
¿Continúa?		Sí		No		No	

Tabla 18. Selección concepto de iluminación.

Iluminación		Concepto					
		Iluminación LED		Lámpara 6500k		Lámpara 6500k forma de anillo	
Criterio de Selección	Peso	Calificación	Puntuación ponderada	Calificación	Puntuación ponderada	Calificación	Puntuación ponderada
Emisión luz fría	35%	1	0.35	3	0.45	2	0.7
Lúmenes	25%	3	0.75	2	0.5	3	0.75
Durabilidad	10%	2	0.2	5	0.5	3	0.3
Potencia	15%	2	0.3	5	0.75	3	0.45
Eficiencia	15%	2	0.3	4	0.6	3	0.45
Puntuación total		1.9		3.4		2.65	
Rango		4		1		1	
¿Continúa?		No		Sí		No	

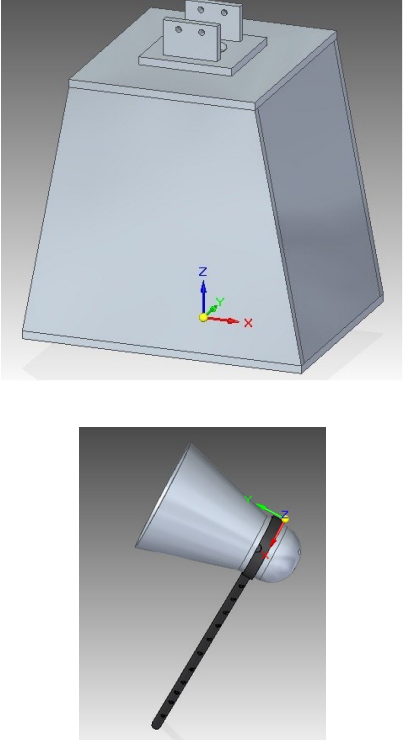
Tabla 19. Selección concepto Material de construcción.

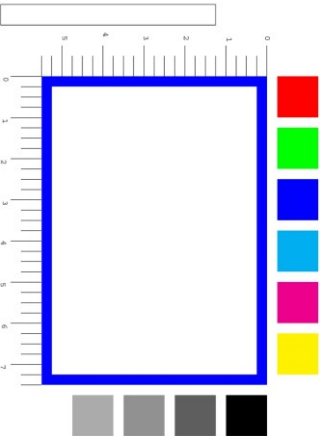
Iluminación		Concepto			
		Iluminación LED		Lámpara 6500k	
Criterio de Selección	Peso	Calificación	Puntuación ponderada	Calificación	Puntuación ponderada
Fácil de maquinar	10%	3	0.3	3	0.3
Ecónomico	20%	2	0.4	3	0.6
Liviano	30%	3	0.9	3	0.9
Traslucido	40%	5	2	3	1.2
Puntuación total		3.6		3	
Rango		1		2	
¿Continúa?		Sí		No	

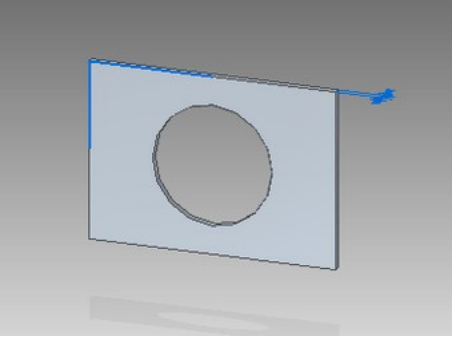
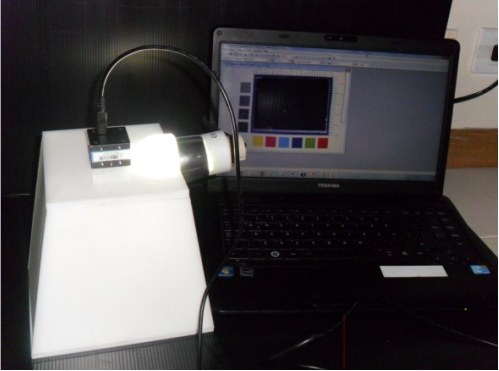
3.4 Diseño en detalle

Se muestran las partes involucradas en el sistema y su función dentro del dispositivo.

Tabla 16. Partes del sistema

	<p>Nombre: Cabina y sistema iluminación-luminaria</p> <p>Función: Permite la distribución de la luz hacia el objetivo y ayuda a evitar la influencia de las condiciones del ambiente en la captura de la imagen.</p>
--	--

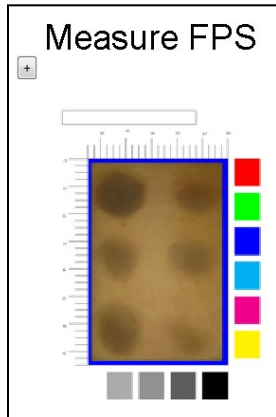
	<p>Nombre: Contorno</p> <p>Función: Permite la calibración de la cámara, hacer una dimensión del objetivo, el recorte de la imagen y el rótulo de la fotografía.</p>
---	--

 	<p>Nombre: Tapa Superior trapecio.</p> <p>Función: Permite estabilizar la distancia de foco y el ángulo entre el objetivo y la iluminación.</p> <p>Diseño Final</p>
---	--

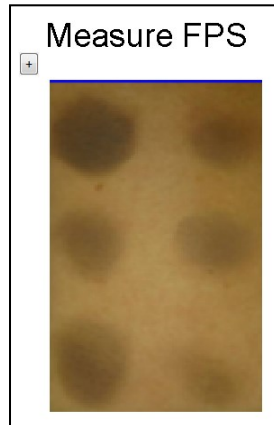
3.5 Diseño de software

Figura 19. Funciones del software.

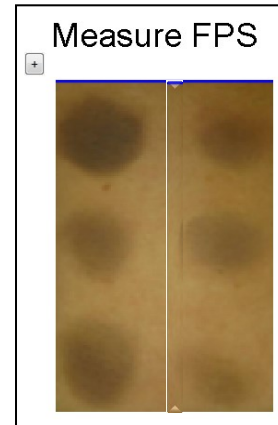
Captura



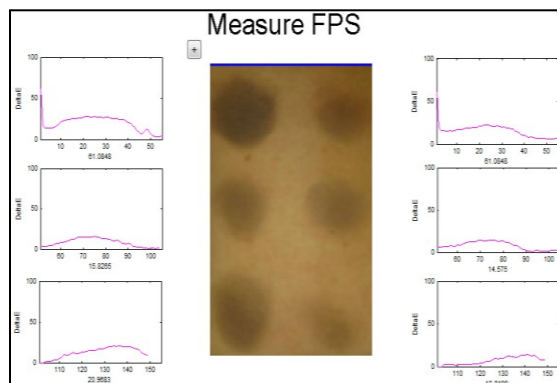
Adecuación de la imagen



Selección de la línea base




Cálculo de la diferencia de color y presentación de los resultados



El desarrollo del algoritmo para la valoración de las diferencias de color en imágenes de cambios de pigmentación de la piel se realizó en el software Matlab. Este software permite múltiples iteraciones de diseño y ofrece algoritmos ya implementados para otro tipo de aplicaciones.

El software desarrollado comprende cinco funciones principales:

Adquisición de la imagen: La cámara está directamente conectada con el software y el botón  permite hacer la captura.

Visualización de la imagen: La interfaz gráfica del software muestra en la parte central la imagen adquirida.

Adecuación de la imagen: El software redimensiona la imagen para agilizar el procesamiento. Y el usuario tiene la opción de recortar la imagen para evitar alteraciones que deriven del contorno azul usado.

Selección de la línea base: El usuario tiene la opción de seleccionar cuatro píxeles para promediar el valor de la piel que no ha sido irradiada.

Cálculo de la diferencia de color: La diferencia de color entre la línea base y las zonas irradiadas se calcula con la **Ecuación 3**.

Visualización de los resultados: La interfaz gráfica muestra la imagen después del procesamiento. Al lado de cada zona irradiada se muestra una curva que expresa el valor de la diferencia de color, debajo de cada curva se entrega el valor del pico de diferencia de color más alto.

4 VALIDACIÓN DEL SISTEMA Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realizaron una serie de pruebas controladas para comprobar el funcionamiento de las variables del sistema.

La selección de la iluminación, una luz de 6500°K, ubicada a 20° y con una luminaria en forma de cono, como se describe en la sección 3.1.1.2, tuvo una correlación $r=0.945$ para los valores del patrón L^* del iluminante D50 de la CRCh. **Figura 20.** En pruebas realizadas sobre zonas de la piel pigmentadas, se observó que este tipo de iluminación ayuda a la eliminación de sombras, se torna suave y difusa con el uso de la cabina y evita la interferencia de sombras y líneas de contorno como se sugiere en el trabajo de Khavkin & al., 2011 para captura de imágenes sobre rejuvenecimiento, tratamientos faciales, enrojecimiento y pigmentación de la piel.



Figura 20. Captura de piel pigmentada y no pigmentada con la iluminación escogida.

La selección del color del fondo se realizó teniendo en cuenta, principalmente, la influencia del mismo en la percepción electrónica de la imagen. Se encontró en pruebas particulares que los fondos acromáticos claros tienen un mejor comportamiento en la disminución del error cuántico de la cámara. No se encontraron muchos hallazgos bibliográficos sobre la influencia del fondo en fotografías médicas o particularmente en fotografías sobre pigmentación y afecciones de la piel. El trabajo

de Khavkin & al., 2011, sugiere que el objetivo del fondo es eliminar las distracciones y poner toda la atención en el paciente y presentan como solución un fondo de color azul. Sin embargo en pruebas experimentales realizadas en este trabajo de grado, se encontró que el fondo que mayor diferencia presenta frente a la coloración de la piel es un fondo acromático.

El software de adquisición se evaluó, en un principio, con una imagen que contenía una organización uniforme similar a la distribución de los círculos de radiación en la prueba “International Sun Protection Factor (Spf) Test Method”. **Figura 21.** Los resultados mostraron los valores reales de las diferencias de color entre la variedad de grises y la línea base (blanca) de la imagen, **Figura 22.**

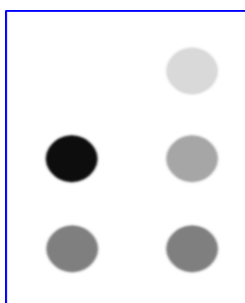


Figura 21. Imagen 1 para la validación del software

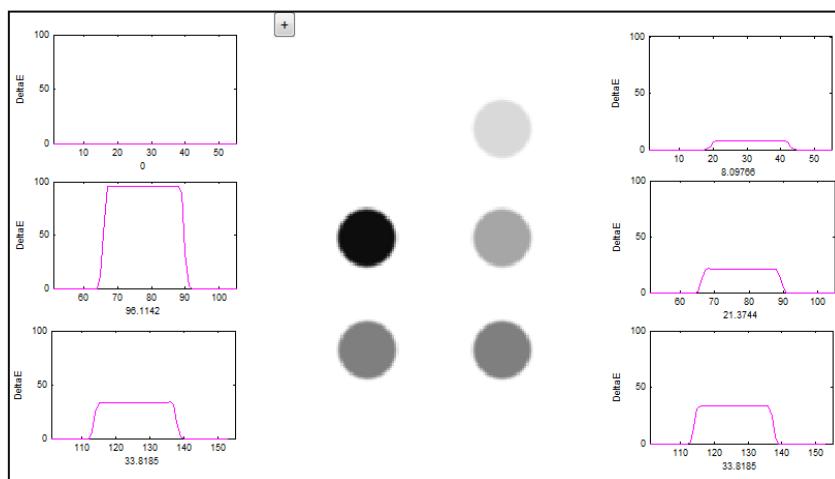


Figura 22. Prueba 1 del funcionamiento del software.

Se repitió la prueba con una línea base tomada del color “Light Skin” de la CRCh y círculos que siguieron la distribución anterior y cuyos colores se obtuvieron variando los

valores L^* de la línea base. El software arrojó curvas correspondientes a las diferencias de color entre la línea base y los círculos. **Figura 23.**

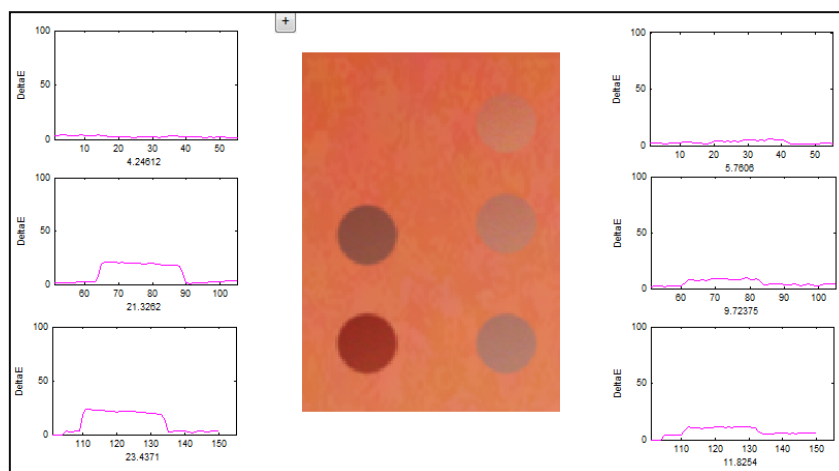


Figura 23. Prueba 2 del funcionamiento de software.

La última prueba de software, se realizó con imágenes de la prueba “International Sun Protection Factor (SPF) Test Method” tomadas con anterioridad en el Centro de la Ciencia y la Investigación Farmacéutica, CECIF. Al presentar el software al señor Enrique Carnago, profesional farmacéutico del CECIF, concluyó que los resultados presentan una mayor certeza que los obtenidos visualmente y estandarizan la percepción de observadores sanos, **Figura 24.**

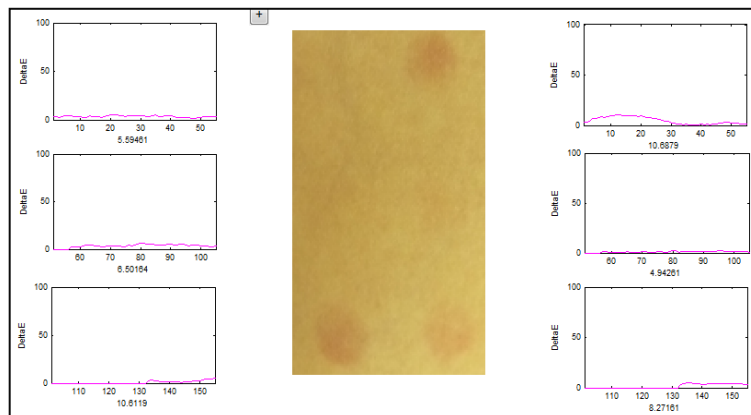


Figura 24. Prueba 3 de software. Imagen real de la prueba.

La evaluación completa del software se realizó con capturas sobre simulaciones de pigmentación en la piel y con dos cámaras fotográficas, una cámara digital Samsung PL20 y una cámara industrial Imaging Source DMK22AUC. La bibliografía sugiere que para la captura es útil una cámara digital convencional (Galdino & al., 2001) y particularmente no se encontraron mayores diferencias en la captura entre las dos cámaras en las pruebas de este trabajo de grado. Las imágenes que se capturaron con el sistema de adquisición desarrollado se procesaron en el software y los resultados correspondieron con la cantidad de pigmentación que se aplicó **Figura 25**.

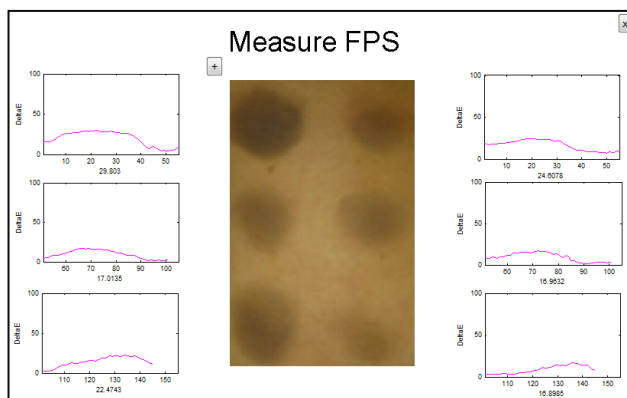


Figura 25. Prueba del sistema de valoración por imágenes para la estimación de la pigmentación de la piel en pruebas de protección solar.

El sistema que se plantea en este trabajo de grado, es un sistema de adquisición y procesamiento, en el cual la percepción del color es relativa y no absoluta a pesar de que se garantizan una iluminación y una geometría estándar. La relatividad del color se debe a que las distancias euclidianas, es decir las diferencias de color, se calculan en la línea base del mismo modelo y no en el color real. Esto garantiza una evaluación de la eficiencia del protector solar, según la pigmentación de la piel, más real porque se mide la diferencia relativa de la piel con bronceado versus la piel que no fue expuesta.

Este sistema permite la extrapolación a otro tipo de pruebas cosméticas o dermatológicas con mínimas variaciones. La implementación de una luz a 45° permite prolongar la prueba de protección solar a la detección de ampollas. El software para hallar la diferencia de color, permite la valoración de otro tipo de pigmentaciones o pérdidas de pigmentación para validar otros productos como cremas aclaradoras y bronceadores.

Debido a que el sistema puede percibir diferencias de color que el ojo humano no, puede implementarse el test para la evaluación de la protección solar en rangos de piel más extremos, pieles oscuras o muy blancas que no se incluyen en el International Sun

Protection Factor (SPF) Test Method porque son diferencias de color que el ojo humano no puede apreciar.

5 CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

El sistema que se desarrolló en este trabajo de grado, es un sistema de adquisición y procesamiento que hace una medición relativa del color de la piel bronceada con diferentes grados de exposición UV versus la piel que no fue expuesta. A pesar de que se garantizan las mismas condiciones de geometría e iluminación para todas las capturas, la medición del color es relativa porque las distancias euclidianas, es decir las diferencias de color, se calculan en la línea base del mismo modelo. Esto significa una cuantificación real de la eficiencia del protector solar.

Este sistema puede percibir diferencias de color imposibles para el ojo humano, lo que puede llevar la implementación del test a rangos de piel con colores más extremos, pieles muy blancas o muy oscuras que actualmente no se incluyen en el International Sun Protection Factor (SPF) Test Method.

Los datos bibliográficos ayudan a concluir que las principales características involucradas en la adquisición de imágenes dermatológicas de cambios de color son: el observador, el fondo, la iluminación y la geometría. Los resultados de las pruebas experimentales realizadas durante el desarrollo de este trabajo de grado, acentuaban la pertinencia de estas variables.

La luz que recibe un objeto puede modificar sus componentes de color. Para obtener fidelidad en fotografías dermatológicas de cambios de color de piel se necesita garantizar la reproducibilidad de un iluminante patrón. Para el objetivo de este trabajo de grado, se escogió el iluminante D50 por la uniformidad en su distribución espectral; después de realizar pruebas con varios tipos de iluminación, se encontró que la más cercana al iluminante patrón fue una lámpara con temperatura de color de 6500k y una luminaria en forma de cono.

Después de hacer varias capturas a un objetivo con diferentes ángulos de iluminación se observó que con la iluminación de 20° hay disminución de sombras; sin embargo, para superficies mates, esta geometría es poco relevante.

El color del fondo tiene influencia en la percepción electrónica de la imagen. Para escogerlo, se partió de la hipótesis de que los grises por no tener matiz ni tono, tienen una diferencia de color considerable respecto al tono de piel. Sin embargo, se evidencian mayores diferencias de color con el fondo verde y el azul porque son fondos que se alejan más de la gama de colores de la piel; y con el blanco y el negro porque tienen valores de luminancia más extremos. Después de cuantificar los cambios DE^* y L^* , entre el color del fondo y el color de la piel, se encontró que es más pertinente usar fondos acromáticos claros, para disminuir el error en la eficiencia cuántica de la percepción.

El espacio de color CIE $L^*a^*b^*$ permite calcular diferencias de color. Las diferencias de color entre el fondo y la piel, y las diferencias de color de la piel bronceada con respecto a una línea base, se calcularon haciendo la transformación de imágenes RGB a imágenes CIE L^*a^*b , este último espacio de color permite hallar la diferencia (DE_{ab^*}) entre dos colores expresada en términos de $L^*a^*b^*$, correspondientes a la distancia euclidiana entre ellos.

6 REFLEXIONES FRUTO DEL TRABAJO Y SUGERENCIAS PARA POSTERIORES PROYECTOS.

Este trabajo de grado permitió la interacción de la ingeniería biomédica con el área cosmética y las especialidades médicas que cubren este campo, como la dermatología. También permitió ofrecer una solución a una necesidad real, con propuestas y soluciones aplicables y posibles. Esto apoya el perfil del egresado Ingeniero Biomédico de la Escuela de Ingeniería de Antioquia, que está en capacidad de diseñar, desarrollar y adaptar tecnologías para la detección de cambios morfológicos en el cuerpo humano, en este caso para prevenir y mantener la seguridad de los usuarios de productos cosméticos.

A partir de este trabajo de grado pueden originarse nuevos proyectos enfocados en el valor agregado de productos cosméticos, hipoalergénicos y dermatológicamente probados. Una siguiente etapa de este trabajo de grado consistiría en la realización de pruebas *in vivo* y bancos de imágenes para la validación del sistema aquí descrito y para la medición de la eficiencia de los protectores solares.

Este trabajo de grado también puede continuarse extrapolando la técnica a otro tipo de pruebas, como la medición de ojeras, el cálculo de la eficiencia de cremas aclaradoras, evolución de quemaduras (no solamente solares), heridas y eritemas.

7 BIBLIOGRAFÍA

Andor, T. (2010). *Andor Technology*. Recuperado el Agosto de 2012, de Digital camera fundamentals: biofiz.sote.hu/run/dl.php?id=1185

Arenas, R. (2005). *Atlas Dermatología, Diagnostico y tratamiento*. Mc Graw Hill.

Azurdia, R., & al., e. (1999). Sunscreen application by photosensitive patients is inadequate for protection. *Br J Dermatol* .

Bae, E. J., & al., e. (2010). A quantitative assessment of the human skin surface using polarized. *Skin Research and Technology* , 270-274.

Bersha, K. S. (2010). *Spectral Imaging and Analysis of Human Skin*. University of Eastern Finland.

CIE. (2000). *Commision Internacionale de L'eclairage*. Recuperado el Agosto de 2012, de Colorimetry, 3rd Edition: http://www.cie.co.at/Publications/index.php?i_ca_id=304

Davidson, M. W. (25 de Julio de 2000). *Concepts in Digital Imaging Technology*. Recuperado el Agosto de 2012, de Quantum Efficiency: <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/digitalimaging/concepts/quantumefficiency.html>

Duro Mota, E., & al., e. (2003). solares, El sol y los filtros. *MEDIFAM* , 13, 159-161.

Ferguson-Pell, M., & al., e. (1995). An empirical technique to compensate for melanin when monitoring skin microcirculation using reflectance spectrophotometer. *Med. EngPhys* , 17, 104-110.

Goldino, G., & al., e. (2001). Standardizing digital photography: it's not all in the eye of the beholder. *Plast Reconstr Surg* .

Gordillo, D. H. (2004). Análisis de la Señal de Video para Interpretar la Ruta de un Robot Rastrero. En D. H. Gordillo, *Cámara CCD y señal de video* (págs. 10-32). Puebla-México: Universidad de las Américas-Puebla.

Hernández, L. P., & al., e. (2010). Cuantificación Automática de Áreas Afectadas con Vitiligo. *Digital Imaging Research Centre online* .

HunterLab. (2008). *CIEL *C*h*. Recuperado el 2012, de http://www.hunterlab.com/apnotes/an09_96a.pdf

HunterLab. (2008). *Hunter Lab*. Recuperado el Agosto de 2012, de Color Theory: http://www.hunterlab.com/apnotes/an07_96a.pdf

Jablonski, N., & al, e. (2000). The evolution of human skin coloration. *Journal of Human Evolution* (39), 57-106.

Jperea. (2010). *Color Matters*. Recuperado el Agosto de 2012, de Gestión del color: <http://www.jperea.net/gestion-de-color/el-ruido-y-el-canal-azul>

Khavkin, J., & al., e. (2011). Standardized Photography for Skin Surface. *Facial Plast Surg Clin* , 241-246.

LACIE. (2008). *Libro Blanco de la Gestión del Color*. Recuperado el Agosto de 2012, de http://www.lacie.com/download/whitepaper/wp_colormangement_3_es.pdf

M, F.-P., & al., e. (1995). An empirical technique to compensate for melanin when monitoring skin microcirculation using reflectance spectrophotometer. 104-110.

Marques, O. (2011). *Practical Image and video processing using MATLAB*. Florida, USA: WILEY.

Moreno, M. I. (2012). Fotoprotección. *Revista Asociación Colombiana Dermatología* , 18, 31-39.

OMS. (Julio de 2009). OMS. Recuperado el Septiembre de 2012, de Las radiaciones ultravioleta y la salud humana: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs305/es/index.html>

Ortiz Zamora, F. (2002). *Procesamiento morfológico de imágenes en color: aplicación a la reconstrucción geodésica*. Alicante, España: Universidad de Alicante.

Pascale, D. (2004). *BabelColor* . Recuperado el Agosto de 2012, de http://www.babelcolor.com/main_level/ColorChecker.htm

Pladellors, A. P. (2007). A device for the color measurement and detection of spots on the skin. *Skin Research and Technology* , 65-70.

Platanotis, K., & al., e. (2000). *Color Image Processing and Applications*. Budapest: Springer-Verlag.

Porter, R. S., & al., e. (Mayo de 2010). *Dermatology About*. Recuperado el 17 de Agosto de 2012, de SkinAnatomy: <http://dermatology.about.com/cs/skinanatomy>

Roa, R., & al., e. (2007). Comparación entre iluminantes y fuentes simuladoras. *Óptica Pura y Aplicada* , 291-300.

Scheinfeld NS, F. K. (2003). in the use of cameras and computer technology. *Dermatol Sug* , 822-825.

Stenberg, C., & al., e. (Noviembre de 1985). Sunscreen application and its importance for the sun protection factor. *Arch Dermatol* .

Strauss RM, G. M. (2003). Digital imaging in clinical dermatology across the UK in the. *Strauss RM, G. M. (2003). Digital imaging in clinical dermatology across the UK in the* , 285-287.

Valencia D, E. (2008). *Mantisgrid*. Recuperado el Agosto de 2012, de Mantisgrid: (https://mantisgrid.eia.edu.co/groups/imagenesmedicas/wiki/1aad8/Adquisicion_digital_de_la_imagen.html)

Valencia, E., & al., e. (2005). Small Color Differences in the Very Pale and Dark Grayish Regions Measured by Camera. *JOURNAL OF IMAGING SCIENCE AND TECHNOLOGY* , 49, 605-619.

WHO. (2003). *INTERSUN the global UV project. Radiation and Enviromental Health Unit*. Geneva: World Health Organization.

Wolff, K., & al., e. (2009). *Dermatología en Medicina General*. Panamericana.

X-rite. (2002). *Guía para entender la comunicación del color* . Recuperado el Agosto de 2012, de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/comunicacion-del-color-artes-graficas/comunicacion-del-color-artes-graficas.pdf>

X-rite. (2004). *The Color Guide and Glossary, x-rite*. Recuperado el Agosto de 2012, de The Color Guide and Glossary, x-rite: http://www.xrite.com/documents/literature/en/L11-029_color_guide_en.pdf

Zonios, G., & al, e. (2001). Skin melanin, hemoglobin, and light scattering properties can be quatitatively assessed in vivo using diffuse reflectance spectroscopy. *Journal of Investigative Dermatology* , 1452-1457.

Measure FPS

GUÍA DEL USUARIO

Tabla de contenido

	Pág.
1. Acerca del dispositivo	3
1.1. Componentes	3
1.1.1 Cabina de adquisición y contorno	3
1.1.2 Iluminación y luminaria	4
1.1.3 Cámara Industrial	5
1.1.4 Interfaz Software	5
2. Software	6
2.1. Información Técnica del software	6
2.2. Instrucciones de uso del software.	6

1. ACERCA DEL DISPOSITIVO.

1.1 Componentes

Cabina de adquisición y contorno, iluminación y luminaria, cámara industrial, software de procesamiento.

1.1.1. Cabina de adquisición y contorno

La cabina de adquisición centraliza el sistema iluminación-cámara, pues en ella se disponen estos elementos con una geometría predeterminada. En la base de la cabina de adquisición se ubica el contorno. Este proporcionará una guía de calibración para la cámara que se va a usar.

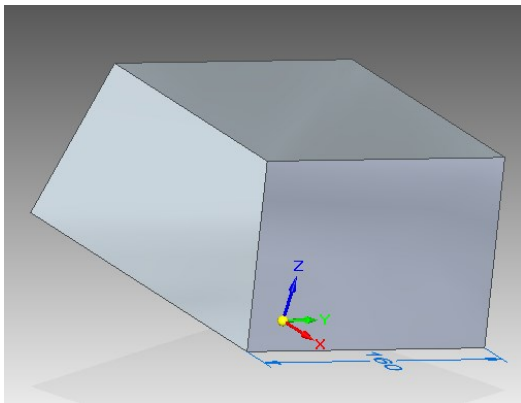


Figura 1. Cabina de adquisición

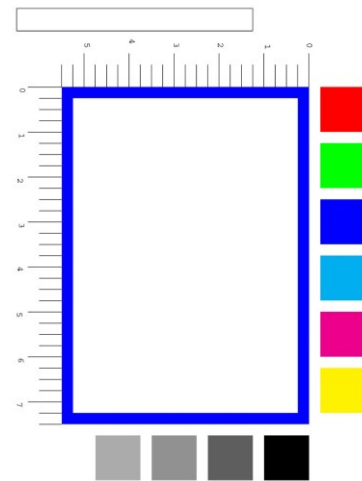


Figura 2. Vista frontal del contorno

1.1.2. Iluminación y luminaria.

La iluminación adecuada para la captura de fotografías dermatológicas en cambios de color de piel es una Luz blanca de 6500K que va dentro de una luminaria en forma de cono

Información técnica de la iluminación

- Temperatura de color: 6500K
- 120V/ 50 – 60 Hz
- Base GU10
- Duración promedio: 8.000 horas

Información técnica de la luminaria

- Materiales: metal y plástico
- Dimensiones: Ancho:100MM Ext: 140MM
Alto: 160MM
- Cubierta en Níquel Satinado.
- Socket GZ10



Figura 3. iluminación-luminaria

1.1.3. Cámara Industrial

La cámara para la adquisición y la captura de las imágenes cumple el papel de observador y hace parte de las características importantes en el sistema de valoración. La alimentación de la cámara se hace directamente con el computador por medio de cable USB. Con ayuda del software, se captura la imagen, se almacena y se procesa la imagen, para obtener los resultados de diferencia de color.

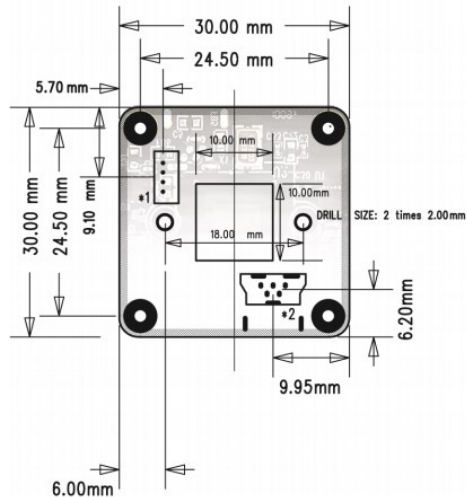


Figura 4. Vista Frontal
Sensor CCD Imaging Source

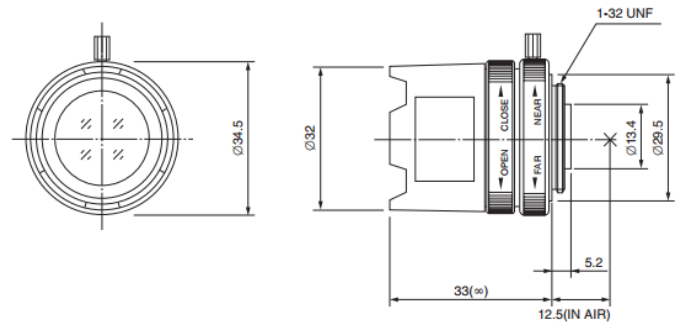
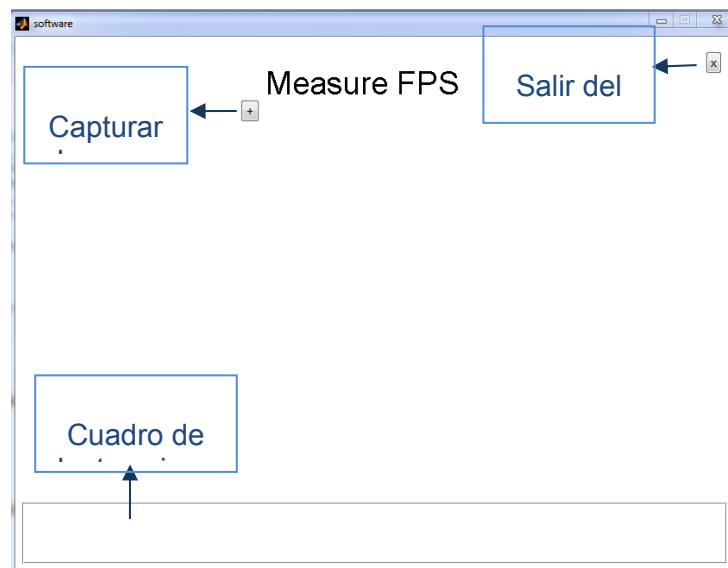


Figura 5. Vista frontal (a)
Vista lateral derecha (b)

1.1.4. Interfaz del software



2. Software

2.1. Información técnica del Software

Extensión: .exe

Sistema Operativo (OS): Windows 7 o superior

2.2. Instrucciones de Uso del software

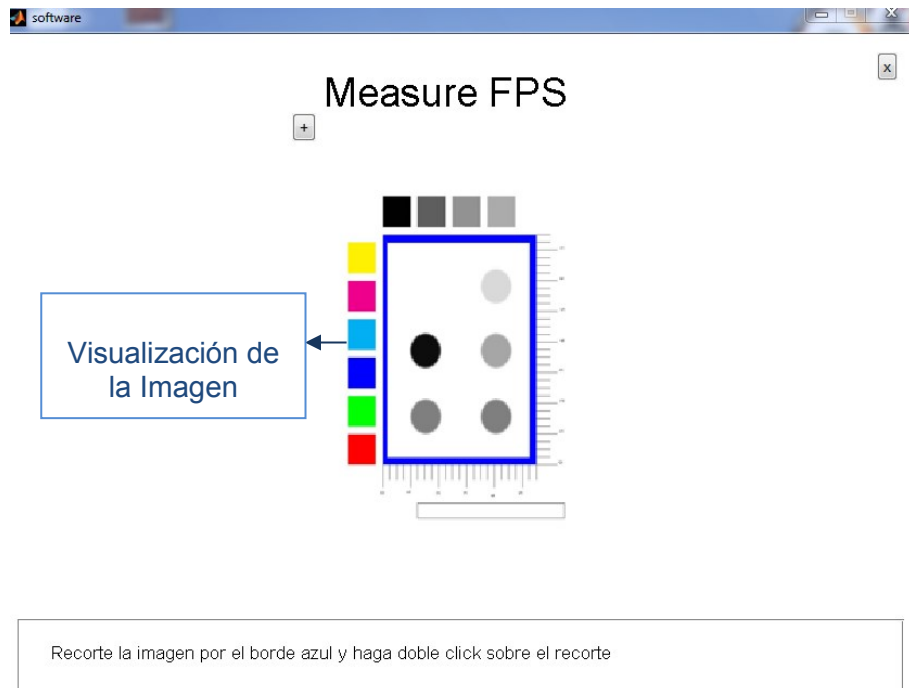


Capturar imagen: La cámara está directamente conectada con el software y el botón permite hacer la captura.



Salir del programa: Con este botón se puede finalizar el procesamiento de la imagen.

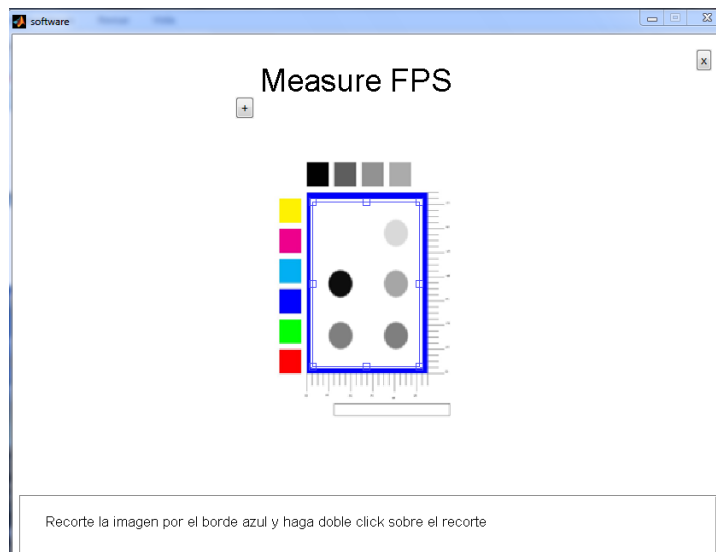
Cuadro de Instrucciones. En este espacio salen las instrucciones que se deben de seguir, una vez capturada la imagen.



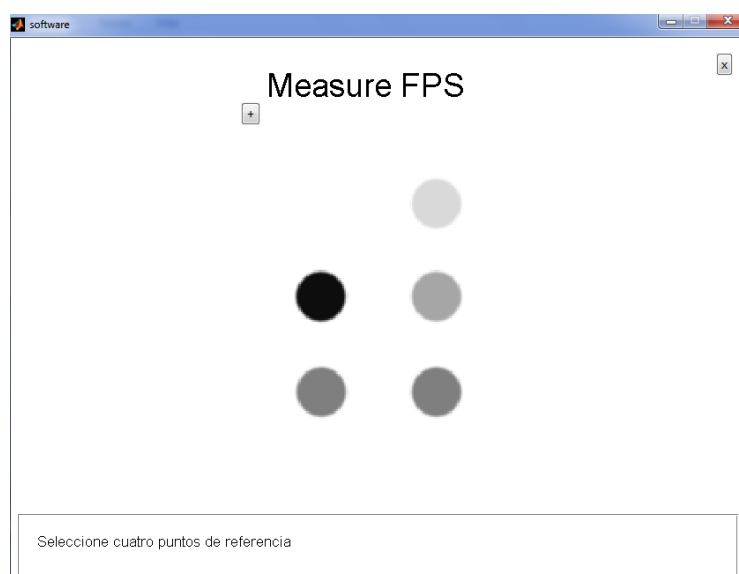
Visualización de la imagen: La interfaz gráfica del software muestra en la parte central la imagen adquirida del contorno rodeando la los puntos de piel normal y bronceada.

Posteriormente, El cuadro de dialogo saca un mensaje “Recortar la imagen por el borde azul y haga click sobre el recorte”.

Con el cursor del mouse, se selecciona el área indicada por el cuadro de dialogo y se hace doble click sobre la imagen. El software redimensiona la imagen para agilizar el procesamiento.

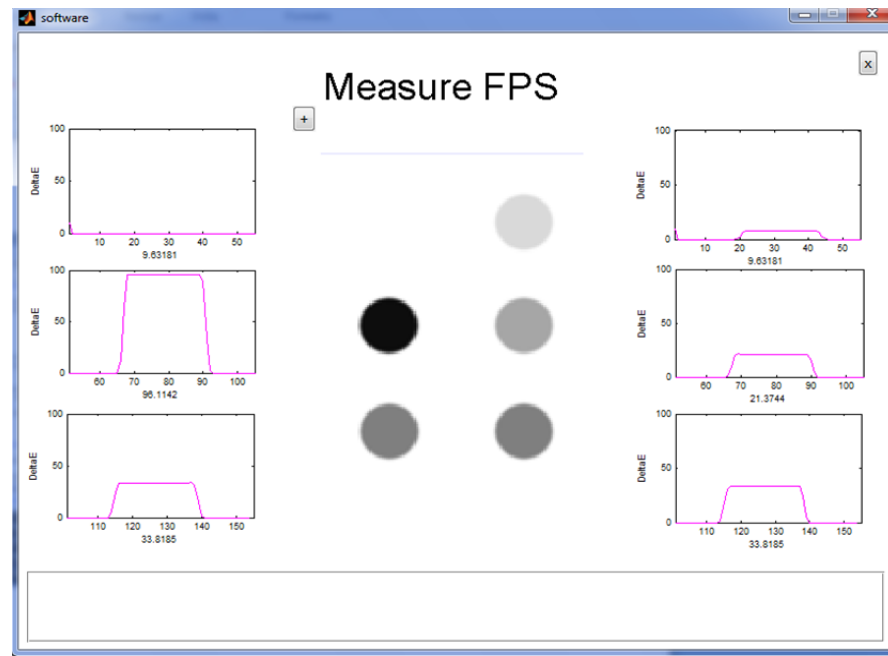


Después de hacer doble click sobre la imagen, en el cuadro de dialogo sale una nueva instrucción “Seleccione cuatro puntos de la línea base”



Con la selección de la línea base, el usuario tiene la opción de seleccionar cuatro puntos provenientes de la piel que no ha sido irradiada.

Finalmente, Se esperan unos cuantos segundos para visualizar los resultados. Al lado de cada zona irradiada se muestra una curva que expresa el valor de la diferencia de color, debajo de cada curva se entrega el valor del pico de diferencia de color más alto.





ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA
ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN FINAL DE TRABAJO DE GRADO

Fecha: (dd/mm/aa)	26 / 11 / 2012						
Nombre del proyecto:	Valoración por imágenes de la pigmentación de la piel en pruebas de protección solar						
Director del proyecto:	Edison Valencia Díaz						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"><tr><td style="width: 50%;">Nombre del estudiante</td><td style="width: 50%;">Programa académico</td></tr><tr><td>Raissa Juliana Pino Flórez</td><td>Ingeniería Biomédica</td></tr><tr><td>Viviana Marcela Posada Pérez</td><td>Ingeniería Biomédica</td></tr></table>	Nombre del estudiante	Programa académico	Raissa Juliana Pino Flórez	Ingeniería Biomédica	Viviana Marcela Posada Pérez	Ingeniería Biomédica	
Nombre del estudiante	Programa académico						
Raissa Juliana Pino Flórez	Ingeniería Biomédica						
Viviana Marcela Posada Pérez	Ingeniería Biomédica						
Evaluación de la sustentación							
Tenga en cuenta: fluidez, seguridad, manejo del tiempo, respuesta a las preguntas y material de apoyo para la presentación							
<input checked="" type="checkbox"/> Aprobada <input type="checkbox"/> No aprobada							
Observaciones: Muy bien un producto de aplicaciones industriales en la cosmética. Impacta el paradigma en la evaluación de las pruebas							
Espacio exclusivo para proyectos exploratorios en emprendimiento							
Se considera que el proyecto puede continuar con incubación? <input checked="" type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No							

DIRECTOR DEL PROGRAMA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

JURADO (Si lo hubo)

